



Universidad
Carlos III de Madrid

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ingeniería Técnica Industrial Mecánica

PROYECTO FINAL DE CARRERA

DISEÑO DEL BASCULANTE DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN Y ANÁLISIS DE FATIGA

AUTOR: ALBERTO JAREÑO NÚÑEZ

TUTOR: HIGINIO RUBIO ALONSO

LEGANÉS ABRIL 2013

Título: Diseño del basculante de una motocicleta de competición y análisis de fatiga.

Autor: Alberto Jareño Núñez

Director: Higinio Rubio Alonso

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día __ de _____ de 20__
en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda
otorgarle la CALIFICACIÓN de _____

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a todas las personas que han hecho posible la realización de éste proyecto.

Agradecer a mis padres su paciencia y el esfuerzo que supone haberme visto sufrir en innumerables ocasiones de ésta etapa. A mi hermana Azucena, un apoyo inigualable a lo largo de toda mi estancia en la universidad. Millones de gracias.

Al resto de mi familia, a mi abuela, mis tíos, tías, primos y primas por su preocupación e interés. Mil gracias.

A las personas que desgraciadamente ya no están y no han podido disfrutar de éste momento. Va por vosotros.

A mis verdaderos amigos (vosotros sabéis quienes sois) que en todo momento han estado ahí, gracias por vuestros consejos, vuestras charlas y vuestros ánimos en momentos delicados. Gracias de corazón.

A todos mis compañeros de carrera, en especial a Adolfo y Javier, porque habéis sido un pilar importante durante todo éste tiempo.

A todo el equipo de Motostudent, porque vosotros amáis la moto como yo y sabéis de buena mano lo sufrido que ha sido todo esto.

Por último a Higinio por su esfuerzo, paciencia y trabajo, a todo el Departamento de Ingeniería Mecánica, al grupo de investigación MaqLab y a todos los profesores con los que me he cruzado durante la carrera, porque me habéis demostrado que no solamente sois profesores de fórmulas y ecuaciones, sino profesores de vida y vuestros consejos y comentarios hacen que uno se pare a pensar mejor como son las cosas.

A todos vosotros. Gracias.

Resumen

En este proyecto se plantea una propuesta de diseño de basculante para una motocicleta de competición de categoría Moto3 del mundial de motociclismo enmarcado en la II Edición de la competición Motostudent.

Se comienza viendo la evolución de basculantes que ha habido a lo largo de la historia de las motocicletas, los tipos más comunes que existen actualmente y su funcionamiento, con esta introducción se presentan varias propuestas de diseño de basculante, de estas propuestas se escoge uno y se desarrolla y se mejora para que cumpla los requisitos de nuestra motocicleta en concreto.

Después se realiza un análisis de elementos finitos y de fatiga para comprobar que el basculante reúna y cumpla los requisitos de la motocicleta.

Finalmente se calculan los elementos auxiliares que necesitará el conjunto y se escogerán para completar el diseño del conjunto.

Palabras clave: Basculante, motocicleta, Motostudent, elementos finitos, amortiguador.

Abstract

In this project proposes a design proposal for a motorcycle swing arm of racing Moto3 category of World Championship Motorcycling framed in the II Edition of Motostudent.

We started seeing the evolution of swing arm that has existed throughout the history of motorcycles, the most common types that exist today and how it works, with this introduction are several design proposals swing arm of these proposals selects one and developed and improved to meet the needs of our specific bike After performing a finite element analysis and fatigue to ensure that the swing arm meets and meets the requirements of the motorcycle.

We then performed finite element analysis and fatigue to ensure that the swing arm meets and complies with the requirements of the motorcycle.

Finally, we calculated the auxiliaries elements need the set and choose to complete the whole design.

Keyword: Swing arm, motorcycle, Motostudent, finites elements, shock absorber.

ÍNDICE

1.-INTRODUCCIÓN	19
1.1.- ÁMBITO Y JUSTIFICACIÓN	19
1.2.- OBJETIVOS DEL PROYECTO	20
1.3.- ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	21
2.- REGLAMENTACIÓN DEPORTIVA GENERAL MOTOSTUDENT	22
2.1- OBJETIVO DE LA COMPETICIÓN	22
2.2.- FASES DE LA COMPETICIÓN	22
2.3.- REGLAMENTO TÉCNICO	23
2.3.1.- LA MOTOCICLETA	23
2.3.2.- REQUERIMIENTOS GENERALES DE DISEÑO	23
2.3.3.- CICLÍSTICA	24
2.3.4.- CARENADOS	27
2.3.5.- MOTOR.....	28
2.3.6.- SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	29
2.3.7.- SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	30
2.3.8.- SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE	30
2.3.9.- SISTEMA DE ESCAPE.....	30
2.3.10.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA	31
2.3.11.- SISTEMAS ELECTRÓNICOS.....	31
2.3.12.- SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	31
2.3.13.- OTROS COMPONENTES COMERCIALES.....	32
2.3.14.- PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIONES TÉCNICAS	32
2.3.15.- IDENTIFICACIÓN DE LA MOTOCICLETA	33
2.3.16.- PLANOS DIMENSIONALES MOTOCICLETA.....	35
3.- LA MOTOCICLETA.....	36
3.1.- DEFICIÓN Y BREVE RESEÑA HISTÓRICA.....	36
3.2.- PARTES DE UNA MOTOCICLETA	36
3.2.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS	37
3.3.- BASCULANTE	46
3.3.1.- ESTUDIO DE LA APLICACIÓN	46
3.3.2.- HISTORIA DEL BASCULANTE	47
3.3.3.- TIPOS DE BASCULANTES.....	54

4.- INTRODUCCIÓN TEÓRICA.....	57
4.1.- CONCEPTOS TEÓRICOS DE RESISTENCIA DEL BASCULANTE	57
4.2.- ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO	58
5.- HERRAMIENTAS DE DISEÑO Y CÁLCULO.....	63
5.1.- INTRODUCCIÓN A PRO ENGINEER	63
5.2.- MODELADO DE PIEZAS.....	64
5.3.- ENSAMBAJE DE PIEZAS.....	73
5.4.- PLANOS DE PIEZAS	77
5.5.- MÓDULO MECHANICA	78
6.- METODOLOGÍA	82
6.1.- DATOS DE PARTIDA.....	82
6.2.- CRITERIOS DE CONSTRUCCIÓN DEL BASCULANTE.....	83
6.3.- PARÁMETROS GEOMÉTRICOS.....	87
7.- DISEÑO Y ANÁLISIS	89
7.1.- ASPECTOS PRELIMINARES.....	89
7.2.- ELEMENTOS FINITOS.....	89
7.3.- MODELOS DE BASCULANTE	91
7.3.1.- PRIMER MODELO: VAA_1	91
7.3.2.- MODELO VAA_2	91
7.3.3.- MODELO VAA_3	92
7.3.4.- MODELO VAA_4	92
7.3.5.- MODELO VAA_5	93
7.3.6.- MODELO Y ANÁLISIS VAA_6.....	93
7.3.7.- MODELO Y ANÁLISIS VAA_7.....	94
7.3.8.- MODELO Y ANÁLISIS VAA_8.....	96
7.3.9.- MODELO Y ANÁLISIS VAA_9.....	98
7.3.10.- MODELO BASCULANTE FINAL: VAA_10	100
7.4.- ANÁLISIS A FATIGA.....	102
7.5.- RESULTADOS	104
7.6.- BASCULANTE FINAL.....	105
8.- ANCLAJES Y UNIONES	106
8.1.- ANCLAJE MOTOR-CHASIS.....	106
8.2.- ANCLAJE RUEDA TRASERA	110
8.3.- OTROS PUNTOS DE ANCLAJE	111

9.- PRESUPUESTO.....	112
10.- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	114
10.1.- CONCLUSIONES.....	114
10.2.- TRABAJOS FUTUROS	115
11.- BIBLIOGRAFÍA	116
ANEXO A. PARÁMETROS DEL BASCULANTE.....	119
ANEXO B. PLANO DE BASCULANTE	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Equipo con el Premio Innovación Tecnológica.	19
Figura 2: Dimensiones oficiales.[3]	35
Figura 3: Partes principales de una motocicleta.	36
Figura 4: Frenos delantero y trasero de motocicleta.	37
Figura 5: Neumáticos slick.....	38
Figura 6: Neumáticos de lluvia.	38
Figura 7: Neumáticos comerciales.	38
Figura 8: Llanta de motocicleta.....	39
Figura 9: Chasis de motocicleta.	39
Figura 10: Subchasis.	40
Figura 11: Basculante.....	40
Figura 12: Motor 4T.....	41
Figura 13: Escape.....	42
Figura 14: Carenado.....	42
Figura 15: Sistema de transmisión por cadena.....	43
Figura 16: Sistema de dirección.....	44
Figura 17: Horquilla.....	44
Figura 18: Amortiguador.....	45
Figura 19: Ducati Multistrada 1200 que monta basculante monobrazo.....	46
Figura 20: Basculante Básico.....	47
Figura 21: Primer Basculante monoamortiguador. No se usó en competición por no pasar las pruebas.	47
Figura 22: Basculante monoamortiguador evolucionado.....	48
Figura 23: Basculante con geometría por debajo.	48
Figura 24: Basculante con la geometría por arriba.....	48
Figura 25: Modos de deformación lateral de las dos posibilidades extremas del diseño de doble brazo, dependiendo de la rigidez del anclaje del eje de la rueda a los brazos laterales.[1]	50
Figura 26: Modelo de elementos finitos del basculante monobrazo.[1]	51
Figura 27: Resultados de la comparación por elementos finitos.[1]	52
Figura 28: Motocicleta Q2 con el basculante monobrazo estudiado.[1]	52
Figura 29: Basculante de una motocicleta de cross.....	54
Figura 30: Basculante de una motocicleta de carretera.....	55
Figura 31: Detalle del Basculante de una motocicleta de carretera.....	55
Figura 32: Sistema de transmisión por cardán de BMW.....	56
Figura 33: Curva Tensión-Deformación.[14].....	58
Figura 34: Diagrama Tensión- Deformación.[13].....	59
Figura 35: Falla por fatiga en un eje.[15].....	60
Figura 36: Determinación de q.[12]	61
Figura 37: Determinación de Kt.[12]	62
Figura 38: Inicio de sesión en Pro Engineer.	63
Figura 39: Selección del tipo de archivo.	64
Figura 40: Ventana de trabajo en Pro Engineer.	65
Figura 41: Directorio de trabajo.	66
Figura 42: Borrado de memoria no mostrado.	67

Figura 43: Funciones de trabajo.....	67
Figura 44: Herramientas de la función esbozo.....	68
Figura 45: Esbozo del cilindro macizo.....	68
Figura 46: Extrusión.....	69
Figura 47: Esbozo perteneciente al vaciado.....	70
Figura 48: Detalle del vaciado.....	70
Figura 49: Vaciado.....	71
Figura 50: Operaciones especiales.....	71
Figura 51: Operación de taladro.....	72
Figura 52: Pistón finalizado.....	72
Figura 53: Conjunto de tren trasero de motocicleta.....	73
Figura 54: Herramientas de conjunto.....	73
Figura 55: Montaje del pistón.....	74
Figura 56: Pistón y bulón sin conexiones establecidas.....	74
Figura 57: Conexiones de piezas.....	75
Figura 58: Bulón montado sobre el pistón.....	75
Figura 59: Operación Insertar.....	76
Figura 60: Conjunto biela-bulón-pistón final.....	76
Figura 61: Plano de pieza en Pro Engineer.....	77
Figura 62: Comandos del módulo Mechanica.....	78
Figura 63: Librería de materiales en Mechanica.....	79
Figura 64: Restricciones de desplazamientos.....	80
Figura 65: Aplicación de cargas.....	80
Figura 66: Ventana de selección de resultados.....	81
Figura 67: Resultados de Tensión de Von Misses.....	81
Figura 68: Plano de llanta trasera.....	82
Figura 69: Plano amortiguador.....	83
Figura 70: Restricciones y cargas.....	85
Figura 71: Parámetros geométricos de la motocicleta.....	87
Figura 72: Primer modelo VAA_1.....	91
Figura 73: Basculante VAA_2.....	91
Figura 74: Basculante VAA_3.....	92
Figura 75: Basculante VAA_4.....	92
Figura 76: Basculante VAA_5.....	93
Figura 77: Basculante VAA_6.....	93
Figura 78: Basculante VAA_7.....	94
Figura 79: Tensión Von Misses en VAA_7.....	94
Figura 80: Desplazamientos en X Y Z en VAA_7.....	95
Figura 81: Basculante VAA_8.....	96
Figura 82: Tensión Von Misses VAA_8.....	96
Figura 83: Desplazamiento en X Y Z en VAA_8.....	97
Figura 84: Basculante VAA_9.....	98
Figura 85: Análisis de tensiones en VAA_9.....	98
Figura 86: Detalle tensión máxima.....	99
Figura 87: Desplazamiento en X Y Z en VAA_9.....	99

Figura 88: Basculante definitivo VAA_10.....	100
Figura 89: Tensión en basculante final.	101
Figura 90: Desplazamientos en basculante final.	101
Figura 91: Gráfico de vida basculante.....	102
Figura 92: Detalle de zonas con menor número de ciclos.....	102
Figura 93: Factor de seguridad.....	103
Figura 94: Basculante final.	105
Figura 95: Foto realismo basculante.	105
Figura 96: Vista en planta del anclaje del basculante.	106
Figura 97: Detalle del interior del anclaje.....	107
Figura 98: Información del rodamiento HK 2520 2RS de SKF.[16]	107
Figura 99: Rodamiento HK 2520 2RS en Pro Engineer.	108
Figura 100: Colocación de los rodamientos.....	108
Figura 101: Colocación de los casquillos.....	109
Figura 102: Arandelas en extremos.....	109
Figura 103: Eje que une chasis-motor-basculante.....	109
Figura 104: Patín de la cadena.	110
Figura 105: Explosionado del patín. Vista de las tres partes que lo forman.	110
Figura 106: Vistas de las placas donde se instalará el amortiguador.	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de Fases Motostudent.[3]	22
Tabla 2: Cuadro resumen de acciones en MEF.....	84
Tabla 3: Tabla deformación en VAA_7.....	95
Tabla 4: Tabla deformación VAA_8.....	97
Tabla 5: Deformación en VAA_9.	99
Tabla 6: Tabla deformación en basculante final.	101

1.-INTRODUCCIÓN

1.1.- ÁMBITO Y JUSTIFICACIÓN

La motocicleta es un medio de transporte especial. No todo el mundo entiende que un vehículo de dos ruedas sea capaz de tenernos enganchados a nosotros, los moteros. Y es que el ser motero es lo que me ha llevado a realizar éste documento. La motocicleta es una máquina, una máquina peligrosa que tiene su forma de comunicarse y de reaccionar ante cualquiera que intente dominarla.

Dentro de la universidad, la Fundación Moto Engineering nos brinda la oportunidad de realizar una motocicleta de competición entre alumnos y alumnas que sentimos la motocicleta como nuestra forma de vida. Y así, con un grupo de trabajo trataremos de realizar una motocicleta, contando con un diseño en CAD, realizando simulaciones que nos permitan obtener la información y el comportamiento que buscamos de nuestra motocicleta y por último fabricando y presentando nuestro proyecto en el circuito de Aragón. Para ello tratamos de poner todo nuestro empeño y sacrificio porque simplemente nos apasiona ésta máquina de dos ruedas.

Así, la Fundación Moto Engineering crea Motostudent, una competición universitaria en la que alumnos de cualquier universidad del mundo se embarcan en la posibilidad de realizar una motocicleta de competición de cuatro tiempos y de 250cc de cilindrada. Hay que destacar que nuestra universidad, en la I Edición Motostudent consiguió meritoriamente uno de los premios que la organización otorgaba, concretamente el Premio de Innovación Tecnológica.



Figura 1: Equipo con el Premio Innovación Tecnológica.

Por tanto, trataremos de realizar un buen trabajo, buscando y marcándonos el objetivo de igualar la actuación de nuestros compañeros, tarea complicada debido al buen nivel ingenieril que estudiaron y satisfactoriamente consiguieron plasmar.

1.2.- OBJETIVOS DEL PROYECTO

El principal objetivo del presente proyecto consiste en el diseño del basculante así como determinar su comportamiento estático y dinámico debido a las sollicitaciones que tiene que soportar en la motocicleta Motostudent que participará en la II Edición del proyecto Motostudent.

Se pretende que el basculante reúna las condiciones adecuadas para su comportamiento y adquiera una relación adecuada de rigidez-peso. Todo ello contando con un presupuesto ajustado, en un tiempo marcado tanto por el director técnico como por la organización de la competición.

Es importante conocer la vida del basculante de una motocicleta de modo que se pueda prever en qué momento se va a producir la fractura ya que esto podría conllevar graves problemas. Esto es debido al carácter repentino de las fallas por fatiga a diferencia de los fallos debidos a cargas estáticas, en los cuales, es posible observar la deformación plástica anterior a la fractura.

Otro de los parámetros que se tendrán en cuenta para el diseño final del basculante serán su estética, su masa, su robustez, incluso la complejidad que pueda haber en el momento de la fabricación y el montaje.

Así, reuniremos la información necesaria para realizar el proyecto de la mejor manera posible y podamos alcanzar nuestro objetivo satisfactoriamente. Clasificaremos los tipos de basculante que existen dentro del mundo de la motocicleta. Después compararemos y elegiremos entre varias geometrías y materiales de los que se fabricará el basculante.

Se crearán diferentes diseños y serán valorados mediante herramientas informáticas, usando el método de los elementos finitos, buscando un diseño final eficiente.

Nuestra principal herramienta será el software Pro/Engineer, tanto para realizar los diseños 3D como para efectuar los análisis estático y dinámico, empleando su módulo Mechanica.

Una vez analizados los diferentes diseños propuestos de basculantes y seleccionado el diseño final, se procederá a realizar un análisis de fatiga para conocer los puntos críticos del basculante, cuál es su vida útil y observar si reúne las características adecuadas que debe cumplir el elemento en cuestión.

Si concluimos que todos los parámetros del diseño final de basculante reúnen las condiciones adecuadas, de cara a integrarlo con los demás elementos de la motocicleta de competición, se propondrá la fabricación del mismo.

1.3.- ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

Para facilitar la lectura de la memoria, se muestra a continuación un breve resumen de cada capítulo:

1.- Introducción: Presentación del documento que consta de los objetivos del proyecto y del ámbito y justificación que se ha tenido en cuenta para su realización.

2.- Reglamentación: Expone la reglamentación técnica que propone la organización de la competición Motostudent para conocer las limitaciones a la que se verá sometida nuestra motocicleta.

3.- La motocicleta: Explicación detallada de las partes relevantes de una motocicleta de competición. Evolución histórica de los tipos de basculante de motocicleta.

4.- Introducción teórica: Consta de los conceptos e hipótesis teóricas que se emplearán en el proyecto.

5.- Herramientas de diseño y cálculo: Explicación detallada de las acciones que se llevarán a cabo con el software Pro Engineer. Modelado de piezas, ensamblaje de piezas, planos de piezas y módulo Mechanica con el que se realizarán los análisis de elementos finitos.

6.- Metodología: En éste capítulo se detalla la planificación seguida en el proyecto y se justifican los procedimientos para llegar al conjunto final, tipo de cargas, coeficientes de seguridad, restricciones para el programa de ensayo, etc.

7.- Diseño y análisis: Muestra la evolución del diseño del basculante, desde los modelos diseñados en primer lugar hasta el diseño del basculante final. Además se determina mediante análisis de esfuerzos cuál será el basculante definitivo. Una vez seleccionado, se realizará un análisis a fatiga del mismo.

8.- Anclajes y uniones: Muestra en detalle los anclajes que tiene el basculante y determina los rodamientos que se emplearán.

9.- Presupuesto: Desglose del presupuesto del proyecto, detallando el tiempo dedicado a cada tarea.

10.- Conclusión y trabajos futuros: Muestra el resumen de los resultados propuestos en los objetivos y además se incluyen propuestas de futuros trabajos.

11.- Bibliografía: Muestra detalladamente los libros consultados, documentos y páginas web empleadas para la realización del proyecto.

2.- REGLAMENTACIÓN DEPORTIVA GENERAL MOTOSTUDENT

2.1- OBJETIVO DE LA COMPETICIÓN

La competición Motostudent promovida por la Fundación Moto Engineering es un desafío entre equipos universitarios de distintas UNIVERSIDADES españolas, europeas y del resto del mundo.

Consiste en diseñar y desarrollar un prototipo de motocicleta de competición de pequeña cilindrada 250 4T., que competirán con su evaluación pertinente, en unas jornadas que se llevarán a cabo inicialmente en las instalaciones de la Ciudad del Motor de Aragón. Para el propósito de esta competición, el equipo universitario debe considerarse integrado en una empresa fabricante de motos de competición, para desarrollar y fabricar un prototipo bajo unos condicionantes técnicos y económicos dados. La competición en sí misma es un reto para los estudiantes, donde estos en un periodo de tiempo de tres semestres han de demostrar y probar su capacidad de creación e innovación y la habilidad de aplicar directamente sus capacidades como ingenieros en comparación con los otros equipos de universidades de todo el mundo.

2.2.- FASES DE LA COMPETICIÓN

Las motocicletas serán juzgadas en unas series de eventos tanto estáticos como dinámicos, que incluirán: exposiciones orales y de “stand”, inspecciones técnicas, demostraciones dinámicas, etc. Para poder evaluar y puntuar los proyectos, la competición tendrá un proceso de selección por fases. Para que las motocicletas y proyectos entren en competición o concurso deberán cumplir los requisitos previos de resistencia seguridad y funcionamiento indicados en el reglamento técnico.

Los equipos, que superen estos requisitos, competirán en la fase MS1 en la cual se evaluará el proyecto bajo el punto de vista industrial con especial atención a aspectos estéticos, técnicos y económicos.

Las motocicletas que superen estas pruebas participarán en la fase de pruebas dinámicas denominada MS2.

Para la valoración final se desarrollará una carrera en la que los participantes serán pilotos federados de copas de promoción, seleccionados por los equipos participantes y aprobados por la organización.

Tabla 1: Tabla de Fases Motostudent.[3]

	Excluyente	Puntuable
Requisitos mínimos	Si	No
Fase MS1 (Proyecto)	Si	Si
Fase MS2 (Seguridad)	Si	No
Fase MS2 (Pruebas dinámicas)	Si	Si
Fase MS2 (Carrera)	Si	Si

Todos los equipos participantes para ser evaluados en cualquiera de las categorías deben superar el nivel mínimo tanto en MS1 como en MS2, es decir ningún equipo puede fijarse como objetivo participar en una sola de las categorías ya que este hecho conculca el espíritu mismo de la competición.

2.3.- REGLAMENTO TÉCNICO

2.3.1.- LA MOTOCICLETA

El objeto de la competición es un vehículo de dos ruedas a motor de combustión interna. Dicho vehículo será concebido para el pilotaje de un solo ocupante.

La motocicleta deberá ser un prototipo diseñado y construido para la competición. La especialidad son las carreras de velocidad.

2.3.2.- REQUERIMIENTOS GENERALES DE DISEÑO DIMENSIONES Y PESOS

Las dimensiones de la motocicleta son libres exceptuando algunos requisitos básicos:

- La anchura mínima entre los extremos de los semimanillares (o manillar en su caso) ha de ser de 450mm. (*Figura 2*)
- El ángulo mínimo de inclinación lateral de la motocicleta sin que ningún elemento de la misma (exceptuando los neumáticos) toque el pavimento debe ser 50°. Dicha medición se realiza con la motocicleta descargada (sin piloto) pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento. (*Figura 2*)
- La distancia libre al pavimento con la motocicleta en posición vertical ha de ser de un mínimo de 100 mm en cualquier situación de compresión de suspensiones y reglajes de geometrías. (*Figura 2*)
- Límite posterior: Ningún elemento de la motocicleta podrá rebasar la línea tangente vertical trazada a la circunferencia exterior del neumático trasero. (*Figura 2*)
- Los neumáticos deberán tener una tolerancia mínima de 15mm con cualquier elemento de la motocicleta en toda posición de la misma y reglaje de geometría.
- La anchura máxima del asiento debe ser de 450mm. No podrá sobresalir de esa anchura ningún otro elemento de la motocicleta del asiento hacia detrás excepto el sistema de escape. (*Figura 2*)

La masa mínima del conjunto de la motocicleta en orden de marcha incluido depósito, gasolina y líquidos no deberá ser inferior a 95 kg en cualquier momento de las pruebas. La masa se podrá verificar tanto al inicio, durante y final de la competición.

Está permitido lastrar el vehículo para alcanzar la masa mínima.

2.3.3.- CICLÍSTICA

BASTIDOR

El diseño, el proceso y el material utilizado para la fabricación del bastidor es libre excepto en las siguientes consideraciones:

- No está permitido fabricar el chasis en titanio ni aleaciones de titanio.
- El bastidor definitivo a presentar en la competición deberá haber superado el proceso de homologación por parte de la organización.

No se permite el uso de un chasis comercial ni tan siquiera una unidad modificada. Deberá tratarse de un chasis prototipo de fabricación propia.

SUSPENSIONES

Suspensión delantera

En el caso de diseño de suspensión en base a tipo de horquilla se deberá utilizar la proporcionada por la organización.

La horquilla proporcionada por la organización no puede ser modificada estructuralmente. Está permitido el reglaje de la horquilla solo en base a cambio de muelles y fluidos hidráulicos.

Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en los ejes de rotación de los componentes del sistema de suspensión delantera.

Si se define otro tipo de suspensión no podrán utilizarse sistemas activos o semiactivos y/o controles electrónicos de cualquier parámetro de la suspensión.

Suspensión trasera

En el caso de uso de amortiguador en la composición de la suspensión trasera se deberá utilizar el proporcionado por la organización.

El amortiguador proporcionado por la organización no puede ser modificado estructuralmente. Se permite el reglaje del amortiguador solo en base a cambio de muelles y fluidos hidráulicos.

Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en los ejes de rotación de los componentes del sistema de suspensión trasera.

No podrán utilizarse sistemas activos o semiactivos y/o controles electrónicos de cualquier parámetro de la suspensión.

DIRECCIÓN

Diseño

En todo el recorrido de giro de la dirección no deberá existir ningún elemento que interfiera en una tolerancia de 30mm entorno a los puños del manillar y accionamientos. El objetivo es evitar daños en las manos y dedos del piloto en caso de caída. (*Figura 2*)

El ángulo mínimo de giro de la dirección deberá ser de 15° medidos a cada lado del eje longitudinal de la motocicleta. (*Figura 2*)

El ángulo de giro de la dirección deberá estar limitado con un tope a cada lado.

Amortiguador de dirección

Está permitido el uso de amortiguador de dirección.

SISTEMA DE FRENOS

La motocicleta deberá disponer tanto de freno delantero como freno trasero.

Freno delantero

Deberá utilizarse el conjunto de freno delantero (bomba, latiguillos y pinza) proporcionado por la organización.

Se permite la elección del tipo de pastillas y disco de freno. Se permite la sustitución de los latiguillos de freno por otros de diferente longitud.

La situación del accionamiento de la bomba de freno y la modificación de la leva de accionamiento es libre con la restricción de que, si su ubicación fuese el manillar, su longitud no podrá ser superior a 200 mm y su extremo deberá ser una esfera de un diámetro mínimo de 18 mm. La esfera podría estar rectificada con un plano de una anchura mínima de 14mm, los bordes del plano han de ser redondeados.

Freno trasero

Deberá utilizarse el conjunto de freno delantero (bomba, latiguillos y pinza) proporcionado por la organización.

Se permite la elección del tipo de pastillas y disco de freno. Se permite la sustitución de los latiguillos de freno por otros de diferente longitud.

La situación del accionamiento de la bomba de freno y la modificación de la leva de accionamiento es libre con la restricción de que, si su ubicación fuese el manillar, su longitud no podrá ser superior a 200mm y su extremo deberá ser una esfera de un diámetro mínimo de 18 mm. La esfera podría estar rectificada con un plano de una anchura mínima de 14mm, los bordes del plano han de ser redondeados.

ESTRIBERAS

Como requisito deberán tener protegidos los extremos con un tope de nilón de un radio mínimo de 8mm.

Deberán disponer de protectores laterales para evitar que la bota del piloto pueda interferir con elementos móviles como cadena o neumático trasero.

MANILLAR

La anchura del manillar medida entre los extremos de los puños no podrá ser inferior a 450mm. (*Figura 2*)

Las puntas del manillar deberán ir protegidas con un tope de nilón redondeado de un radio mínimo de 8mm.

No está permitido el uso la de manillares o semimanillares contruidos en aleación ligera.

Los soportes del manillar o semimanillares deberán estar diseñados con el fin de minimizar el riesgo de fractura en caso de caída. Se deberán utilizar radios mínimos de 2mm en el anclaje para facilitar deformaciones sin fractura.

BASCULANTE

El basculante deberá ser de fabricación propia .Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en la fabricación de los ejes de rotación del basculante.

Es obligatorio el uso de un protector de cadena que impida la interferencia entre el cuerpo del piloto y el punto de engrane cadena-corona en la rueda trasera.

LLANTAS Y NEUMÁTICOS

La organización suministrará las llantas y neumáticos y se prohíbe su modificación.

Sus dimensiones serán:

Delanteras 2.50”x17” Traseras, 3.50” x 17

Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en la fabricación de los ejes de ruedas.

Está permitido el uso de protectores de nilón en los extremos del eje para posibles caídas. Estos protectores deberán ser redondeados con un diámetro igual o superior al del eje utilizado.

Los ejes de rueda no podrán sobresalir de su alojamiento en sus extremos más de 30mm. No se consideran en esta medida posibles protectores de nilón.

PROTECCIONES PARA CAÍDAS

Se aconseja el uso de topes de nilón para proteger la motocicleta en caso de caída. También se permite el uso de protectores de fibra para chasis y cárter de motor.

2.3.4.- CARENADOS

RESTRICCIONES DIMENSIONALES

Todos los bordes y acabados del carenado han de ser redondeados. Radio mínimo 1mm.

La anchura máxima del carenado será de 600mm. (*Figura 2*)

Límite frontal: el carenado en ningún caso podrá sobrepasar la vertical frontal trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático delantero.

Límite posterior: el carenado en ningún caso podrá sobrepasar la vertical posterior trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático trasero.

Lateralmente: El carenado no podrá cubrir lateralmente al piloto a excepción de los antebrazos (esta excepción solamente en posición de mínima resistencia aerodinámica del piloto). La llanta posterior no podrá cubrir-se en más de 180°.

Entre la altura del asiento y la parte más elevada del colín la cota máxima será de 150mm.

La utilización de guardabarros no es obligatoria.

El guardabarros delantero no podrá cubrir más de 135° de la circunferencia del neumático medido desde la parte posterior del neumático con origen del ángulo en la horizontal que pasa por el eje de rueda. En esos 135° las dimensiones del guardabarros son libres.

Esta permitido el uso de alerones como pieza del carenado. Deberán no superar la anchura del carenado o del colín ni superar la altura de los extremos del manillar. El radio mínimo será de 2mm. Se permite el uso de dispositivos móviles aerodinámicos.

SEGURIDAD

Todos los sobraderos de la motocicleta deberán redirigirse a un depósito de un mínimo de 250cm³ de capacidad para evitar vertido de líquidos. (Sobrado de aceite cárter, depósito de gasolina, refrigerante).

2.3.5.- MOTOR

Deberá utilizarse el motor proporcionado por la organización. El motor se entregará sellado y se prohíbe totalmente su manipulación interna.

Tipo

Motor monocilíndrico de 250 cm³ 4T tiempos con refrigeración líquida.

Cilindro

No se permite ninguna modificación.

Culata

No se permite ninguna modificación.

Cárter

No se permite la modificación del mismo ni tan siquiera en sus anclajes externos.

Caja de cambios

Está prohibida la modificación de la caja de cambios en cualquiera de sus componentes. Tan sólo se permite la instalación de sensores para la adquisición de datos.

Transmisión secundaria

El tipo de transmisión es libre.

Embrague

La situación del accionamiento de la leva del embrague es libre con la restricción de que su longitud no podrá ser superior a 200mm y su extremo deberá ser una esfera de un diámetro mínimo de 18mm. La esfera puede estar rectificada con un plano de una anchura mínima de 14mm, los bordes del plano han de ser redondeados.

Acelerador

El acelerador ha de ser de retorno automático de manera que se asegure su cierre en caso de que el piloto suelte el mismo.

2.3.6.- SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE

El carburador es de libre elección. Se prohíbe el uso de carburadores cerámicos.

Sólo se permite una válvula de control del acelerador, el cual debe estar exclusivamente controlado por elementos mecánicos y manipulados por el piloto únicamente. No se permiten otros dispositivos móviles (excepto los inyectores) en el sistema de admisión antes de la válvula de entrada del motor.

Está permitido el uso de sistemas de inyección de carburante adicionales al carburador y la programación electrónica de los mismos. Los inyectores de combustible deben estar localizados aguas arriba de las válvulas de entrada del motor.

Se permiten sistemas tipo RAM Air.

Depósito de combustible

El respiradero del depósito de combustible deberá estar provisto de una válvula de retención. El respiradero deberá verter en el depósito de sobrantes de líquidos.

El depósito de carburante de cualquier tipo deberá ir relleno con material retardante de llama o disponer de otro depósito flexible interno de seguridad. En el caso de los depósitos “no metálicos” es obligatorio el uso de este segundo depósito adicional de goma o resina. El fin de esta vejiga de seguridad no es otro que impedir el derrame de carburante en caso de rotura del depósito. Si se utiliza un depósito homologado no hay otro requisito.

Está prohibido presurizar el depósito de carburante.

El tanque de gasolina deberá ser calificado como “apto” por la organización antes de la realización de las pruebas en cumplimiento de las consideraciones anteriormente expuestas.

Conductos de combustible

Todos los conductos de combustible del depósito al carburador o sistema de inyección deberán estar provistos de *racords* estancos de seguridad. De manera que en caso de desprendimiento del depósito de la motocicleta sea el *rácord* el que se desconecte y no otras uniones del conducto. Por tanto, para la apertura del *rácord* la fuerza aplicada deberá ser, máximo, el 50% de la fuerza necesaria para desprender cualquier otra unión o rotura del material componente del conducto.

Sistema de llenado

El tapón del depósito de combustible deberá ser estanco y estar provisto de un sistema seguro de cierre que impida a posibilidad de desprenderse en caso de caída.

Tipo de combustible

El combustible será administrado por la organización.

Está prohibida la utilización de aditivos al carburante. En la cámara de combustión no podrán entrar otros agentes que no sean el combustible proporcionado por la organización y aire atmosférico.

2.3.7.- SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Refrigeración interna del motor

No se permite la modificación del sistema de refrigeración interna del motor.

Radiador

El número, la situación, el tamaño y la composición de los radiadores son libres siempre y cuando cumplan con los requerimientos dimensionales de las cotas generales de la motocicleta.

Líquidos refrigerantes

Los líquidos refrigerantes utilizados no podrán ser otros que agua o aceite. Está prohibida la utilización de aditivos en estos refrigerantes. En las pruebas dinámicas la organización proveerá del líquido refrigerante común para todos los equipos.

2.3.8.- SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE

Conductos de admisión

La composición, dimensiones y situación de los conductos de admisión de aire son libres siempre que éstas cumplan los requerimientos dimensionales de las cotas generales de la motocicleta.

Sistemas de sobrepresión

Está prohibido el uso de sistemas “turbo” para el aumento de presión de gases en la admisión. Únicamente se permite el aprovechamiento aerodinámico del movimiento del vehículo mediante el uso de tomas de aire.

2.3.9.- SISTEMA DE ESCAPE

El sistema de escape será de libre elección siempre que cumpla los requerimientos dimensionales generales de la motocicleta y la normativa sonora.

No se permiten sistemas de escape de longitud variable.

El ruido no debe sobrepasar los 115 db/A, medidos en un test estático.

No se permiten elementos móviles en el sistema de escape.

2.3.10.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La composición de la instalación eléctrica deberá ser elaborada por cada equipo competidor. Está prohibido el uso de una instalación comercial.

Cableado

El tipo de cable a utilizar, el diseño y la ejecución del mazo de cables son libres.

Conectores

El tipo de conectores es libre. Se deberá tener en cuenta la posibilidad del correcto funcionamiento eléctrico de la motocicleta en condiciones de lluvia.

Componentes

Se permite el uso de componentes comerciales (bobinas, baterías, reguladores, conectores).

Todas las motocicletas deberán ir provistas de un botón de paro de seguridad en el lado izquierdo del manillar. Deberá estar indicado en color rojo para su fácil localización en caso de emergencia. Dicho botón de paro deberá cortar el suministro eléctrico a cualquier componente de la motocicleta.

2.3.11.- SISTEMAS ELECTRÓNICOS

Centralita

La centralita para la gestión electrónica será proporcionada por la organización (coste aparte) a los equipos que la requieran. Se permite la utilización libre de otras centralitas.

Tablier

El sistema de información utilizado en el tablier es libre.

Otros sistemas electrónicos

Está permitido el uso libre de otros sistemas electrónicos como cambio semiautomático, limitadores de vueltas, sistemas de información, limitadores de velocidad, control de servos.

2.3.12.- SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Está permitido el uso de sistemas de adquisición de datos relativos a parámetros de motor, dinámica de la motocicleta y comportamiento del piloto.

Se podrán utilizar sistemas comerciales o la adaptación de sistemas de otro tipo de vehículos.

Así mismo, se permite la utilización libre de todo tipo de sensores tanto de fabricación propia como reutilización de adaptaciones.

El software utilizado podrá ser comercial o de diseño propio.

2.3.13.- OTROS COMPONENTES COMERCIALES

Se permite el uso de elementos de adquisición comercial excepto los prohibidos explícitamente en este reglamento.

2.3.14.- PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIONES TÉCNICAS

Para el control y verificación de vehículos se creará una ficha para cada prototipo. Este documento será relleno por los verificadores técnicos en la fase previa a la competición. Una vez contrastados todos los apartados se deberá dar la calificación de “apto” para poder participar en las diferentes pruebas. Tras la verificación se fijará un adhesivo de la organización comprobante de la aceptación del prototipo.

Homologación del chasis

La organización se reserva el derecho de verificar el chasis mediante una prueba previa a la competición. Se habrá de presentar previo a la competición un estudio teórico de cargas sobre el chasis.

La prueba se realizará en un potro de ensayo. Se aplicarán una carga horizontal progresiva sobre la pipa de la dirección de 2750N en dirección longitudinal (dirección de marcha) a la motocicleta y vertical de 2000N sobre el soporte trasero (subchasis). Estas cargas se aplicaran sucesivamente cinco veces consecutivas y se verificara que la medida es repetitiva en cuanto a deformación con un error entre medidas inferior a un 10% y no aparece ningún tipo de fallo o fisura ni en los componentes ni en los elementos de unión. En la página web se muestra el esquema del banco y los componentes suplementarios que debe cada equipo aportar a la organización para estas pruebas.

Verificación de cotas generales

Se medirán y supervisarán las cotas generales de diseño estipuladas en este reglamento.

Verificación de pesos

Se acondicionará un centro de verificaciones y controles donde los participantes podrán verificar su vehículo.

Se podrá solicitar por la organización controles de pesos en cualquier fase de la competición.

Los controles se realizarán sobre el vehículo en orden de marcha con todos sus sistemas y componentes además de los líquidos necesarios para su uso.

Inicialmente se realizará una calibración del sistema de medida.

Se realizarán tres pesadas del vehículo y la media de los tres resultados será el valor asignado.

La tolerancia en la medida es 1kg por debajo del mínimo.

Verificación de ruidos

El prototipo será analizado en un espacio abierto donde no existan obstáculos en un radio de 10m.

El ruido ambiente no podrá ser superior a 90 dB/A en un radio de 10m. La medida se realizará a 50cm del extremo del tubo de escape y en un ángulo de 45°. La medida límite será de 115 dB/A. La verificación se realizará a un rango fijo de revoluciones del motor. 7000 min⁻¹.

Verificación del cumplimiento de la normativa de seguridad

Se realizará una verificación completa de cada uno de los puntos referentes a seguridad de cada uno de los apartados descritos en este reglamento. Por encima de cualquier criterio técnico a nivel de prestaciones o construcción del vehículo deberá prevalecer, como prioritario, la seguridad de los participantes. Para ello, todos los prototipos deberán cumplir los requisitos de seguridad en cualquier fase de la competición. De manera especial se hace hincapié en la verificación del vehículo tras haber sufrido un accidente con el fin de garantizar la seguridad del mismo.

2.3.15.- IDENTIFICACIÓN DE LA MOTOCICLETA

Números y fondos

Las medidas mínimas de los números serán de 140mm de alto por 30mm de ancho.

Las medidas mínimas de los fondos serán de 275mm de ancho por 200mm de alto.

El color de los números deberá ser negro y el fondo blanco.

Al menos 25mm entorno a los números deberán estar libres de otros grafismos.

Identificación frontal

La motocicleta deberá ser identificada con un dorsal frontal que permita una visualización clara del vehículo durante la competición.

Dorsales laterales

Del mismo modo se deberá identificar la motocicleta lateralmente con el dorsal asignado.

Número de identificación de bastidor de la motocicleta

Cada prototipo deberá disponer de número de chasis grabado en el mismo para la identificación del mismo en cualquier situación.

Nombre de la universidad

En todos los prototipos deberá aparecer el nombre de la universidad o las iniciales en caracteres de un tamaño no inferior a 50mm de alto por 30mm de ancho.

Espacio en el bastidor para adhesivo de verificación técnica

Se deberá proveer al bastidor de un espacio mínimo de 70mm de ancho por 40mm de alto para la fijación del adhesivo de verificación de la organización. Si no directamente en el bastidor, se deberá habilitar una placa para la fijación del mismo.

Espacio para soporte y alojamiento del transponder

Se deberá habilitar un espacio para la fijación del transponder y su soporte. Este espacio deberá ser de un mínimo de 120mm de alto por 120mm de ancho, 60mm de fondo.

El espacio deberá estar localizado en la parte derecha del vehículo y en una posición protegida de posibles caídas.

No deberá existir obstáculo de interferencia en la línea entre el transponder y el receptor en el lugar de medición. La organización suministrará las características dimensionales del transponder así como el tipo de soporte.

Es responsabilidad del equipo la correcta fijación del transponder.

2.3.16.- PLANOS DIMENSIONALES MOTOCICLETA

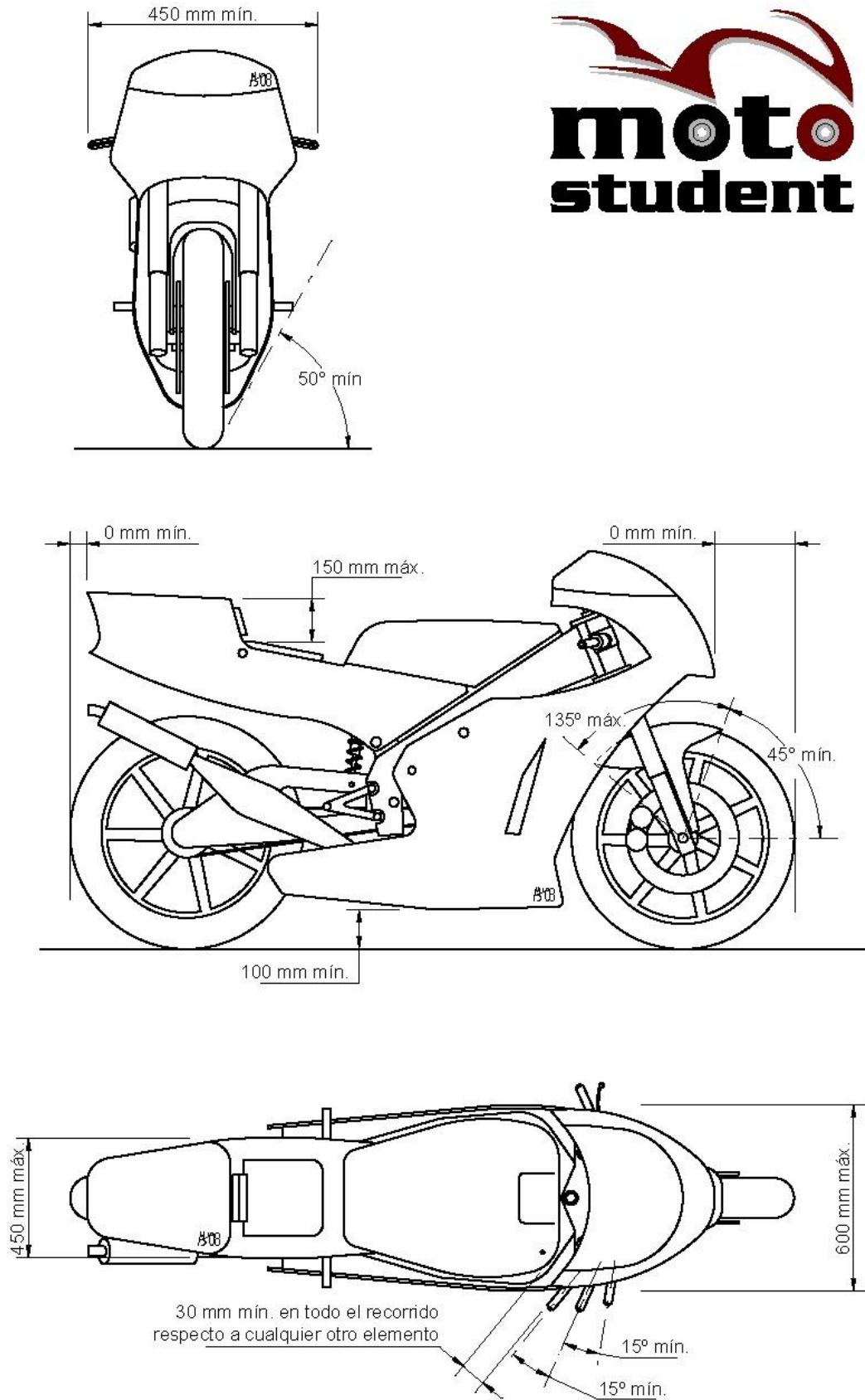


Figura 2: Dimensiones oficiales.[3]

3.- LA MOTOCICLETA

3.1.- DEFINICIÓN Y BREVE RESEÑA HISTÓRICA.

La motocicleta es un vehículo automóvil que consta de dos ruedas y es impulsado por un motor, habitualmente de gasolina que puede ser de dos o cuatro tiempos y tener entre uno y seis cilindros. La rueda directriz es la delantera y el motor acciona la rueda trasera generalmente mediante una transmisión por cadena.

Si echamos la vista atrás, cabe citar que el verdadero creador de la motocicleta fue H. Hilderbrand, quien en 1855 acopló a una bicicleta un pequeño motor de vapor construido por él mismo. Posteriormente, en 1885, los inventores alemanes Gottlieb Daimler y Wilhem Mayback, diseñaron la primera motocicleta impulsada por un motor de combustión interna diseñado por ellos mismos. Su motocicleta tenía un bastidor de madera y tenía dos pequeñas ruedas de estabilización, por lo que técnicamente no podría ser considerada una motocicleta aunque por muchos historiadores es considerada la primera motocicleta de la historia debido a que tenía un motor de combustión interna. El hijo de Daimler, Paul, se convirtió en el primer motorista el 10 de noviembre de 1885, cuando pilotó la invención de su padre a lo largo de casi 10 kilómetros.

En 1894 H. Hilderbrand y A. Wolfmüller presentaron en Múnich la primera motocicleta fabricada en serie con fines comerciales.

De ahí en adelante la motocicleta ha estado, y sigue estando, en constante evolución.

3.2.- PARTES DE UNA MOTOCICLETA

Las partes principales de una motocicleta son las que se muestran en la *Figura 3*. Nos basaremos en ésta figura para explicar todos los componentes principales de los que consta una motocicleta.



Figura 3: Partes principales de una motocicleta.

3.2.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS

En este apartado se va a llevar a cabo una descripción más detallada de las partes de la motocicleta.

Frenos

Son los elementos encargados de realizar la función de decelerar la motocicleta en el momento que considere oportuno el piloto de la misma.

En la actualidad, la totalidad de las motocicletas de competición llevan frenos de disco, fabricados en acero aleado y mordidos por pinzas de anclaje radial en el tren delantero y axial en el tren trasero. Presentan un disco pequeño en la rueda trasera, de aproximadamente 120mm de diámetro y un disco mucho mayor en la rueda delantera, de 250mm de diámetro. Éste aumento significativo del freno delantero al trasero, es debido a la transferencia de pesos del tren trasero al delantero.



Figura 4: Frenos delantero y trasero de motocicleta.

Neumáticos

Los neumáticos son una de las partes clave de los vehículos, debido a que son el elemento que mantiene en contacto el vehículo con la calzada.

En condiciones normales, se utilizarán neumáticos slick (lisos), ya que éstos maximizan la superficie en contacto con el asfalto. Actualmente, todas las motocicletas de competición, en condiciones de seco, utilizan este tipo de neumático. Los neumáticos de seco se suelen presentar con compuesto blando o duro, según las condiciones de la pista. En condiciones de lluvia se utilizan neumáticos rayados, para poder evacuar el agua de la pista y evitar una caída.

Las medidas habituales para una moto como la que queremos construir de gran premio son las siguientes:

- Delantero 95/75 x 17"
- Trasero 115/70 x 17"

Siendo el primer número la anchura del neumático en mm, el segundo es la altura del perfil y el tercero es el diámetro de la llanta en pulgadas.

En las siguientes figuras podemos observar un juego de neumáticos de competición de seco, un juego de neumáticos de lluvia y un juego de neumáticos de una motocicleta comercial.



Figura 5: Neumáticos slick.

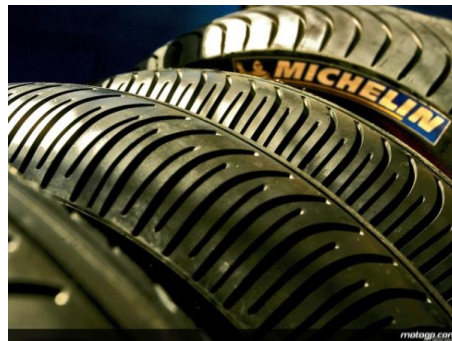


Figura 6: Neumáticos de lluvia.



Figura 7: Neumáticos comerciales.

Llantas

Las llantas son el elemento en el que se monta el neumático para completar el montaje de las ruedas.

En el caso de Motostudent, este elemento es proporcionado por la organización.

En la actualidad, la tendencia para su fabricación es usar aleaciones de aluminio, magnesio o fibra de carbono con el fin de reducir la masa no suspendida y obtener así un mejor comportamiento dinámico, mejorando la adherencia.



Figura 8: Llanta de motocicleta.

Chasis

El chasis o bastidor es uno de los elementos más importantes en lo que se refiere al comportamiento de una motocicleta. Ha de ser ligero, resistente y rígido.

Su función principal es servir de sujeción para el resto de elementos de la motocicleta: motor, basculante, subchasis...

En motos de gran premio, el chasis suele estar realizado en aluminio si es de doble viga, o en acero aleado si se trata de un chasis tubular.



Figura 9: Chasis de motocicleta.

Subchasis

El subchasis es la estructura que se encuentra bajo el colín, donde se ubica el alojamiento para el piloto. Se trata de un elemento de escasa importancia a la hora de diseñar una motocicleta, lo único que hay que conseguir es que soporte el peso del piloto y que éste se encuentre en la posición adecuada.

Se suelen realizar de aluminio o acero, según el fabricante. Es muy típico en competición usar una estructura muy simple de tubos como subchasis.



Figura 10: Subchasis.

Basculante

El basculante es el elemento que une la rueda trasera con el chasis, permitiendo movimiento relativo entre ambos. Se trata de un elemento importante en el comportamiento de la motocicleta, debido a que variando su dimensión conseguimos aumentar o disminuir la distancia entre ejes, por lo cual, como veremos más adelante, la motocicleta se comporta de manera distinta. Es el elemento a estudiar en el proyecto.



Figura 11: Basculante.

Motor

Es el encargado de propulsar la motocicleta. Suelen ser de combustión interna (que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible al arder este dentro de una cámara de combustión) de dos o cuatro tiempos. Actualmente se presentan en el mercado motocicletas que montan motores eléctricos. Transmite la potencia a la rueda trasera mediante el sistema de transmisión. Los sistemas que conforman el motor son:

- Sistema de distribución: se ocupa del trasvase de gases
- Sistema de alimentación: es el encargado de mezclar la gasolina y el aire.
- Escape: extrae los gases quemados, provenientes del motor.
- Catalizador: minimiza la contaminación provocada por los residuos gaseosos del motor.
- Encendido: provoca la chispa que desencadena la combustión.
- Refrigeración: disipa calor para evitar un calentamiento excesivo de las piezas.
- Lubricación: impide que las piezas entren en contacto directo, impidiendo el rozamiento.
- Elementos eléctricos: desde iluminación a funciones accesorias.



Figura 12: Motor 4T.

Sistema de escape

El sistema de escape es el encargado de conducir los gases de escape procedentes de la cámara de combustión hacia el exterior. Los tubos de escape de competición para motos de 4T no son tan complejos como las anteriores 2T, se consiguen diferentes prestaciones variando la longitud de tubo de escape y su anchura, haciendo así que los gases de escape tengan una salida rápida al exterior o tarden mas por la longitud mayor. Todos los escapes incorporan una parte final llamada silenciador. El silenciador, tiene como misión reducir el ruido que llega al exterior.



Figura 13: Escape.

Carenado

Es el revestimiento realizado en fibra de vidrio, fibra de carbono, plástico u otro material que se adapta al chasis con fines aerodinámicos, estéticos y de seguridad.

En el carenado de una motocicleta de competición se distinguen cuatro partes:

- Cúpula: ocupa la parte superior delantera de la moto, incluye un parabrisas transparente, para que cuando se acople el piloto pueda tener visión.
- Quilla: se localiza en la parte inferior, entre las ruedas.
- Laterales: son los elementos de unión entre cúpula y quilla, para dar continuidad al carenado completo.
- Colín: es independiente del resto de partes del carenado. Ocupa la parte trasera de la motocicleta y va sujeto al subchasis.



Figura 14: Carenado.

Transmisión

Es el mecanismo encargado de transmitir la potencia del motor a la rueda trasera.

Para que esa transmisión sea efectiva necesitaremos varios sistemas que la hagan posible:

- La Transmisión Primaria: Engloba todos los elementos que se encargan de transmitir el movimiento del cigüeñal al embrague. La transmisión primaria puede efectuarse mediante cadena o engranajes. El sistema por excelencia es el de la caja de cambios.
- La transmisión secundaria: Es aquella que lleva el movimiento desde el eje de salida de la caja de cambios al piñón de ataque y a la rueda trasera. Puede ser de varios tipos (por cadena, por correa, transmisión directa, junta cardan). Actualmente, la totalidad de las motocicletas de competición, utilizan un sistema de transmisión secundaria por cadena. El sistema completo está formado por un piñón de ataque que va acoplado directamente a la salida de potencia mecánica del motor, la corona, la cual se encuentra fijada a la llanta trasera, y la cadena, que es el elemento que une a los dos anteriores para transmitir el movimiento a la rueda trasera.



Figura 15: Sistema de transmisión por cadena.

Sistema de dirección

El sistema de dirección utilizado en la totalidad de las motocicletas de 250cc del campeonato del mundo de velocidad está compuesto por dos tijas de dirección que tienen alojados sendos rodamientos, permitiendo movimiento relativo entre la horquilla delantera (botellas de suspensión y tijas) y la pipa de la dirección. Para poder aplicar un par de giro se acoplan a las botellas de suspensión unos semimanillares. Los semimanillares no son más que dos piezas tubulares (una para cada lado, derecho e izquierdo) fabricadas normalmente en aluminio, donde se encuentran acopladas las manetas de freno delantero y embrague, según el lado y los puños donde se agarra el piloto. Este sistema de dirección es válido cuando utilizamos como suspensión delantera una horquilla telescópica.

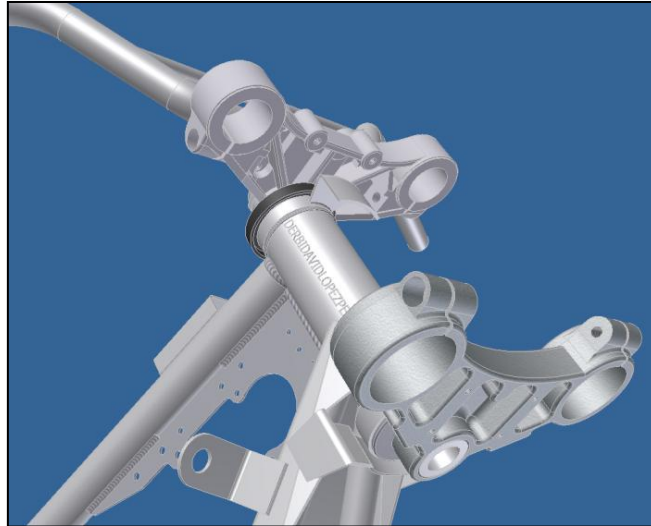


Figura 16: Sistema de dirección.

Suspensiones

La suspensión de una motocicleta es la encargada de mantener las ruedas en contacto con el suelo en todo momento, así como de procurar que las partes de la motocicleta que están ancladas a las ruedas, mantengan una trayectoria rectilínea con respecto al suelo.

La suspensión delantera y trasera, aunque deban realizar una tarea semejante, tienen una configuración diferente.

- Suspensión delantera: El sistema más extendido es la horquilla telescópica, debido a que es relativamente barato y sencillo de fabricar. La horquilla tiene dos brazos que se unen a la pipa de dirección con la rueda. Estas uniones se dan respectivamente en la tija y en el eje de la rueda delantera. El mecanismo de suspensión consiste en un muelle en el interior de cada brazo que hará que se tienda al máximo estiramiento después de cada compresión. Para minimizar las oscilaciones propias de un muelle, se introduce aceite hidráulico en la parte inferior a modo de amortiguador. En función de la disposición de estos elementos diremos que la horquilla es convencional o invertida. En la convencional, las barras van sujetas a las tijas y las botellas al eje.



Figura 17: Horquilla.

- Suspensión trasera: La suspensión trasera une el chasis con el basculante, y su principal finalidad es la de mantener la rueda trasera en contacto con el suelo, para poder aplicar tanto el par motor, como el par de frenada. Todas las motocicletas de gran premio utilizan el sistema de mono amortiguador. Dicho sistema consta de un único elemento resorte amortiguador conectado entre el chasis y el basculante. Se encuentra formado por el cuerpo y el vástago. El cuerpo realiza una función parecida a las de las botellas en la suspensión delantera, por lo que se trata de la parte con mayor anchura del amortiguador. Contiene demás elementos de absorción y amortiguamiento como en el caso de la horquilla. También se ha extendido el uso de bieletas para la suspensión trasera, con las ventajas que proporciona la desmultiplicación de recorrido con pequeñas variaciones en estas.



Figura 18: Amortiguador.

3.3.- BASCULANTE

3.3.1.- ESTUDIO DE LA APLICACIÓN

En todo chasis de motocicletas moderno, tenemos un elemento que cumple la función de permitir el libre movimiento de la rueda trasera en sentido vertical e inhibir el movimiento de la misma en sentido horizontal. En términos técnicos, este tipo de elemento se denomina basculante.

El cuerpo del basculante, posee un punto fijo a una estructura en donde se aloja un rodamiento que permite el libre pivoteo, de ahí su nombre, del resto del cuerpo. Actualmente, los basculantes más utilizados son los de dos brazos huecos (sección cuadrada, rectangular, hexagonal, circular, etc.), siendo los mismos contruidos en diversas aleaciones férricas o de aleaciones de aluminio que tienen menor peso. También los hay de estructura tubular o basculantes monobrazo.



Figura 19: Ducati Multistrada 1200 que monta basculante monobrazo.

A lo largo de la historia del diseño del basculante, ha habido cambios en dimensiones, en tipos de transmisión (cardán, cadena y correa), tipos de sistemas de amortiguación, secciones y aleaciones que se han implementado; siendo hoy en día la sección cuadrada de aleaciones de aluminio la más utilizada, tanto en competición, como en motocicletas de calle.

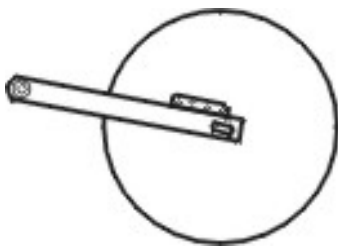
3.3.2.- HISTORIA DEL BASCULANTE

A través de los años de desarrollo de los chasis de las motocicletas, muchas soluciones se han planteado al problema de aumentar la relación potencia/peso mediante la reducción de la masa total de la motocicleta.

Éste elemento se encuentra sujeto a numerosos esfuerzos estructurales, siendo los más importantes los esfuerzos de torsión (al tomar una curva), de pandeo estáticos (el peso del conductor) y dinámicos (al pasar por un bache ó al acelerar). Estos esfuerzos imponen condiciones límite a la hora del diseño, ya que un basculante muy ligero será a su vez un basculante demasiado débil para afrontar estos esfuerzos y viceversa.

A continuación veremos las soluciones que se han planteado a lo largo de los años, siendo todas ellas válidas hoy en día, pero no en la competición de velocidad de la actualidad.

El basculante básico, de diseño de a mediados de los años setenta, fue utilizado asiduamente en las competiciones de aquella época, siendo utilizada actualmente en la gran mayoría de las motocicletas urbanas y turísticas de media-baja cilindrada. Es de diseño fuerte y robusto, el cual está constituido por tubos cuadrados de acero de 2 pulgadas por 1 pulgada de ancho.



Su efectividad y durabilidad no están en duda y llevan en cada brazo los correspondientes anclajes para los amortiguadores.

Figura 20: Basculante Básico.

El primer basculante con configuración de monoamortiguador, diseñado a principios de los años ochenta, era un basculante de aleaciones ferrosas al cual se le agregó una estructura triangular, sobre ésta se realizaba el anclaje del monoamortiguador. El sistema era conceptualmente bueno (su objetivo era disminuir el peso mediante el uso de un amortiguador en vez de dos), pero en la práctica se producían roturas y quebraduras en los sectores sometidos a esfuerzos (soldaduras y sistema de anclaje del monoamortiguador).

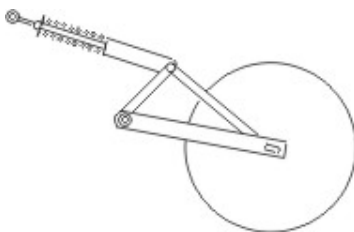


Figura 21: Primer Basculante monoamortiguador. No se usó en competición por no pasar las pruebas.

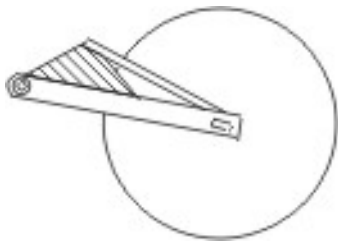


Figura 22: Basculante monoamortiguador evolucionado.

El basculante de monoamortiguador, tomó el concepto del primer basculante de monoamortiguador, pero aumentando la rigidez y resistencia a los esfuerzos mediante el agregado de refuerzos triangulares en los vértices. Estas evoluciones realizadas funcionaron perfectamente, incluso mejoró el objetivo de reducir el peso del conjunto, el cual se basó en la construcción de un tipo de "pantalla envolvente"(como si fuera una carpa), la cual lograba aumentar la rigidez del conjunto, disminuyendo a la vez la sección del refuerzo superior, obteniendo así lo mismo que antes pero más rígido, robusto y ligero.

Esto es muy normal verlo en las motocicletas Sport de los finales de los años ochenta y principios de los noventa.

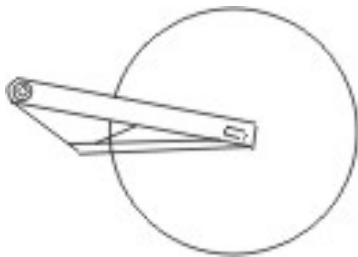


Figura 23: Basculante con geometría por debajo.

Las variaciones siguientes al primer diseño con el refuerzo del tipo "carpa", se basaron en la optimización de formas y geometrías, más que en el diseño del basculante. En este caso el refuerzo desapareció como tal, para incorporarse el mismo dentro del cuerpo del basculante. De esta forma se realiza un túnel en el cuerpo del basculante para permitir el paso de la cadena de transmisión secundaria, pudiéndose construir el basculante con el "refuerzo" hacia arriba o hacia abajo.

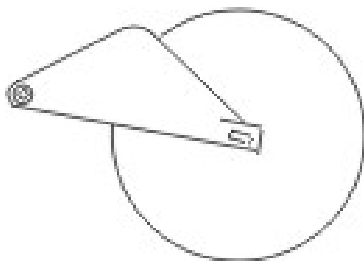


Figura 24: Basculante con la geometría por arriba.

Asimismo, los materiales evolucionan hacia aleaciones de aluminio muy ligeras, pero con la adición de perfiles de refuerzo dentro del cuerpo del basculante.

Monobrazo o doble brazo

Los basculantes monobrazo se han usado desde hace mucho tiempo en pequeños ciclomotores y scooter, pero no empezaron a considerarse como una opción seria para motocicletas deportivas grandes y para motos de competición hasta que no aparecieron las motocicletas Elf de resistencia diseñadas por Andre de Cortanze. Desde entonces ha existido diversidad de opiniones con respecto a esta solución. Honda lo ha empleado en una gran variedad de motocicletas deportivas y de competición, tanto con transmisión por cadena como por cardán, Ducati ha tenido mucho éxito en los circuitos, mientras BMW ha pasado a emplear el monobrazo de forma exclusiva en todos sus modelos con transmisión por cardán, primero con un brazo rígido muy simple y más tarde con un sistema articulado llamado “paralever” que controla el levantamiento y el squat. En cambio, MV Augusta ha decidido utilizar un monobrazo de fundición en su Superbike F4. De hecho los basculantes monobrazo tienen un uso mucho más amplio de lo que normalmente se piensa.

Sin embargo, la mayoría de los fabricantes todavía utiliza el diseño estándar de los últimos 50 años, el basculante de doble brazo, de una forma u otra. ¿Cuál es el motivo? Quizás se debe a la tradición, consideraciones de fiabilidad del producto, estética o, ¿es que el diseño simétrico del basculante de dos brazos tiene algunas ventajas técnicas? Lo que nos interesa es el aspecto técnico de esta pregunta y para encontrar la respuesta tendremos que estudiar qué características hacen que un basculante sea bueno y como ambos planteamientos (monobrazo y doble brazo) llegan a encontrar esos requerimientos.

Asumiendo que ambas variantes tienen la misma geometría (misma longitud y los mismos puntos de anclaje al chasis), y que tanto el muelle como el amortiguamiento son iguales, existen tres criterios principales para compararlos:

Rigidez estructural

Masa total

Masa no suspendida.

Comparación estructural

Dado que el diseño real de un basculante monobrazo y de uno de dos brazos varía tanto, resulta difícil poder compararlos. Los basculantes monobrazo para transmisión por cadena al estilo de los que han diseñado Honda, Ducati y otros, utilizan formas muy complejas, debido a que montan la corona de la cadena por el lado de fuera. Las propiedades estructurales de estos brazos se pueden evaluar utilizando técnicas de análisis por elementos finitos. Es un método de cálculo por ordenador que considera que la estructura está compuesta por muchos elementos pequeños unidos juntos, de acuerdo a unas reglas determinadas, para formar la pieza completa. Normalmente los basculantes monobrazo para motocicletas con transmisión por cardán tienen una construcción más sencilla.

Las características de la deformación de un basculante de dos brazos dependen en gran medida de la naturaleza y la rigidez del eje de la rueda y de su método de anclaje. El peor caso lo encontramos en aquellos basculantes que tienen una fina chapa en su extremo con una ranura para el ajuste de la cadena, este caso se acerca mucho al de un eje con articulaciones en ambos extremos. El mejor caso probablemente lo podremos encontrar en máquinas con transmisión final por cardán, que suelen tener un eje con un anclaje muy rígido. La *Figura 25* muestra el

patrón de deformación de dos casos extremos. En el primero el eje no aporta ningún efecto rigidizador y en el segundo el eje tiene una unión completamente sólida con el basculante. En el mundo real, un basculante estaría en algún lugar entre estos dos extremos y los resultados que veremos más adelante son un promedio de estos dos valores extremos.

La deformación torsional del basculante de dos brazos tiene tres fuentes principales de flexibilidad que debemos considerar:

Torsión en el eje de pivotamiento del basculante.

Flexión vertical de los brazos.

Torsión de los brazos laterales, que depende fundamentalmente del tipo de anclaje del eje de la rueda, al igual que en caso de la flexión lateral.

Para hacernos una idea acerca de si alguno de los dos tipos de construcción, monobrazo o doble brazo, tiene una ventaja estructural importante sobre el otro vamos a considerar unos análisis por elementos finitos de ejemplos simples de cada tipo, en acero, y después compararemos los resultados. Cada tipo se ha analizado de dos formas, tal y como se muestra en las *Figuras 25 y 26*. El ejemplo de dos brazos se analiza tanto con un segundo tubo transversal de refuerzo, como sin él. El monobrazo con y sin un refuerzo de chapa por detrás del tubo de pivotamiento. En ambos casos se utilizan brazos de 457mm de longitud y ambos tienen tubos de pivotamiento idénticos, de 203mm de ancho, 44,4 mm de diámetro y 3,17 mm de espesor de pared. Para el diseño tradicional de dos brazos, estos están contruidos con chapa de 51 x 25 x 1,59 mm. Esta es una configuración típica utilizada por muchos fabricantes de piezas especiales. El basculante monobrazo que vamos a analizar es el que montaba la Q2 (cuya foto aparece un poco más adelante), que empleaba un tubo de 76 mm de diámetro con una pared de 1,59 mm. Así que ambos casos corresponden a ejemplos prácticos.

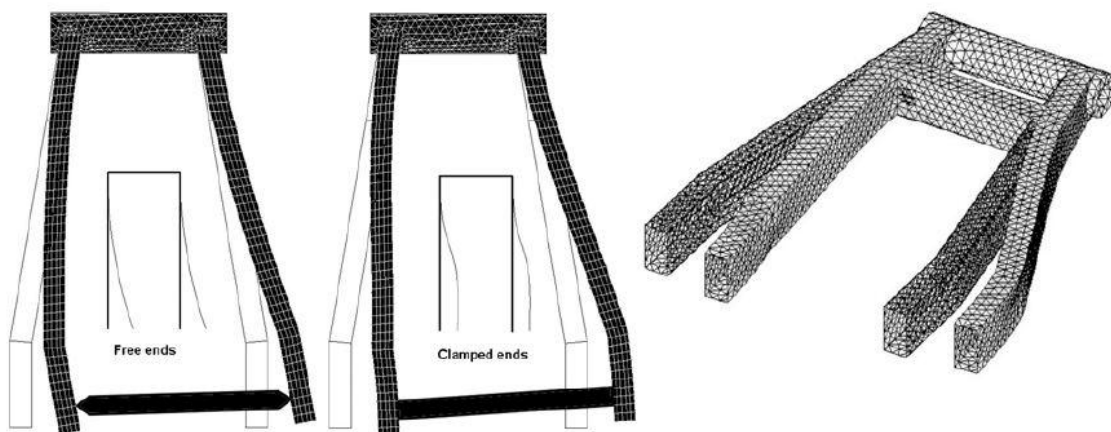


Figura 25: Modos de deformación lateral de las dos posibilidades extremas del diseño de doble brazo, dependiendo de la rigidez del anclaje del eje de la rueda a los brazos laterales.[1]

El caso de la izquierda equivale a un eje con articulaciones en sus extremos, en el centro se muestra el caso con el eje de la rueda unido rígidamente a los brazos. Pare tener una mayor claridad, ambos casos se muestran con desplazamientos laterales iguales, pero en realidad el caso articulado se deforma tres o cuatro veces más. A la derecha tenemos el basculante con un segundo tubo transversal.

La *Figura 27* muestra las deformaciones de la rueda que hemos considerado y los resultados de los análisis. Se muestran como un porcentaje del resultado más rígido en cada caso. Podemos ver que en los dos ejemplos que analizamos ninguno tiene una ventaja clara sobre el otro. El monobrazo reforzado y el basculante de dos brazos reforzado con un segundo tubo transversal tienen prácticamente la misma rigidez en lo que se refiere a la variación del ángulo de comba.

En cuanto al desplazamiento lateral, el monobrazo es casi el doble de rígido, pero la situación es la contraria en el ángulo que gira la rueda (ángulo de guiñada). En el ejemplo de dos brazos la resistencia de la rueda a girar con un movimiento de guiñada depende mucho de la disposición del diseño. Por ejemplo si los dos brazos son paralelos, tendremos un ángulo de giro muy pequeño a pesar de la flexibilidad lateral de los brazos. Por el contrario, si los brazos se abren hacia la parte trasera, como suele ocurrir casi siempre en la práctica, entonces la rueda girará cierto ángulo, tal y como podemos ver en la *Figura 25*. Así pues, resulta complicado generalizar sobre las características del diseño de doble brazo. Para ello hay que estudiar los detalles de ejemplos específicos.

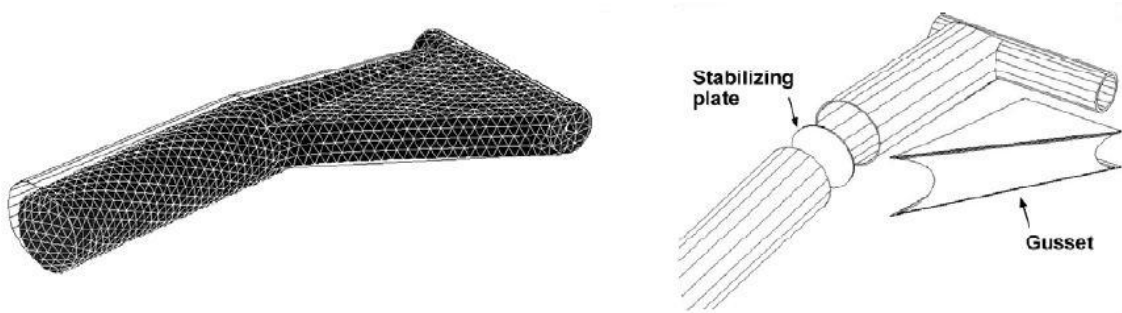


Figura 26: Modelo de elementos finitos del basculante monobrazo.[1]

La ilustración de la izquierda muestra cómo la estructura se divide en pequeñas partes para su análisis. En la derecha se muestra el detalle de la construcción interna, el plato estabilizador es un ejemplo del cuidado que hay que tener con los detalles cuando se utilizan piezas de gran sección con paredes finas. Este plato evita en gran medida las deformaciones locales en el punto donde el refuerzo se encuentra con el brazo, reduciendo el desplazamiento lateral y la concentración de tensiones. En este caso el plato aumentó la rigidez lateral alrededor de un 30%. El análisis considera dos casos, con refuerzo o sin refuerzo.

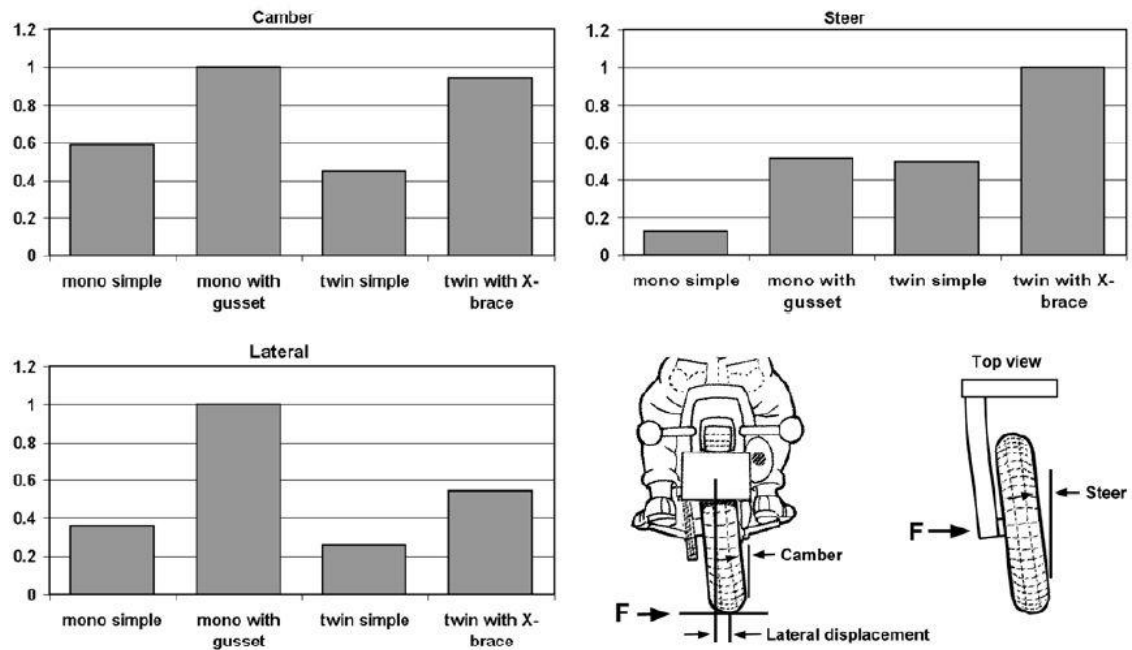


Figura 27: Resultados de la comparación por elementos finitos.[1]

Los valores de rigidez se muestran en función del mejor de cada caso. El dibujo de abajo a la derecha muestra los 3 tipos de desplazamiento que se consideran en el análisis, cuando sometemos al conjunto a una fuerza lateral (F) en el punto de contacto del neumático con la carretera.



Figura 28: Motocicleta Q2 con el basculante monobrazo estudiado.[1]

Está claro que la adición del refuerzo del basculante monobrazo y del segundo tubo transversal en el basculante de doble brazo es muy eficiente a nivel estructural. En cada caso la rigidez global se multiplica aproximadamente por dos a cambio de un pequeño aumento de masa. Así pues, parece que ambos tipos de basculante se pueden construir para que tengan un comportamiento estructural satisfactorio. Las diferencias en los valores de rigidez que hemos obtenido con estos ejemplos son menores que las que se podrían obtener con cualquier otro diseño dependiendo del diseño de detalle, por lo que la decisión sobre qué tipo elegir normalmente estaría basada en otra clase de consideraciones. La facilidad para el cambio de rueda podría ser un punto definitivo a favor del monobrazo, especialmente en carreras de resistencia, pero existen otras consideraciones como el coste, la facilidad de ajuste de la cadena, la facilidad para conseguir las tolerancias de fabricación necesarias, la estética, la tradición y otras.

Como regla general, resulta necesario equilibrar la rigidez relativa de los componentes del chasis. Por ejemplo no tiene sentido aumentar la masa para rigidizar un buen basculante que se usa en un chasis muy flexible, sería mejor utilizar ese aumento de masa para rigidizar primero el chasis.

Así, la suspensión trasera mediante basculante es un diseño universal. A lo largo del tiempo se ha ido incrementando la rigidez estructural, lo que en general ha beneficiado el comportamiento dinámico. Con una o dos excepciones, el empleo de dos amortiguadores montados casi verticales, uno a cada lado de la rueda, fue el sistema de suspensión favorito durante un largo periodo de tiempo. De hecho este sistema todavía se utiliza mucho, aunque en las motocicletas de campo, en las de competición y en las deportivas el sistema más habitual se basa en algún tipo de monoamortiguador comprimido por un sistema de bieletas. Aparte de proporcionar ventajas estructurales esta solución proporciona una gran libertad en la fase de diseño para hacer que la constante elástica tenga características progresivas o regresivas.

Actualmente existe una gran discusión, aunque sin ningún consenso, sobre si merece la pena utilizar basculantes monobrazo en lugar de los más habituales de doble brazo. En realidad, probablemente se puede hacer que ambos trabajen igual de bien dependiendo de la calidad del diseño de detalle. La facilidad de cambio de rueda debería ser una gran ventaja para el monobrazo en carreras de resistencia. Las motocicletas con transmisión por cardán han conseguido un gran volumen de fabricación de sistemas monobrazo.

Si bien existen varias soluciones posibles al problema de la variación de la distancia que existe entre el piñón de ataque y la corona de la rueda, son muy poco utilizadas. En general, la variación de la holgura de la cadena es algo que se acepta, aunque con los largos recorridos de suspensión de las motocicletas de campo se producen variaciones demasiado grandes como para no tenerlas en cuenta. Esto se controla a través de un piñón que se empuja mediante un muelle.

3.3.3.- TIPOS DE BASCULANTES

Actualmente existen varios tipos de basculantes, dependiendo del tipo de motocicleta.

Trail, Enduro, Híbridas y Cross

En estos tipos de motocicletas, el recorrido de la suspensión trasera es muy elevado, así como el radio de las ruedas lo que implica un basculante más largo, mientras que el objetivo de un peso contenido se ve reflejado por la utilización de aleaciones ligeras y secciones de menor tamaño, implicando con ello una mayor flexibilidad del elemento.

Generalmente se utilizan secciones huecas de diversas aleaciones de aluminio sobretodo y también de acero.

Hay que destacar su bajo costo de fabricación, relativa rigidez debido a las aleaciones ligeras utilizadas y al alto nivel de esfuerzos dinámicos requeridos y mecánica de amortiguación desarrollada.



Figura 29: Basculante de una motocicleta de cross.

SPORT, SUPER SPORT, SPORT TURISMO

En este tipo de motocicletas entran a jugar condiciones de límite de peso, resistencia estática (aceleración), rigidez, que implica fragilidad, y, en los casos de los motores de 2 Tiempos, gran cantidad de vibraciones. Debido a esto, se han diseñado diversos tipos de basculantes y utilizado gran cantidad de aleaciones, variando con la potencia y prestaciones de cada modelo.

Por ejemplo, en el caso de la Yamaha YZF R6 se ha utilizado un basculante de aluminio de doble brazo con refuerzos tanto en el interior de la sección hueca como en el exterior, con el objeto de aumentar su rigidez y resistencia a la deformación ante esfuerzos que ocurren en la aceleración. La variedad de basculantes existentes en este campo es innumerable, monobrazo, aluminio hueco, aluminio reforzado, etc. Debido a que siempre ha sido la competición de velocidad la que orientó la historia del diseño del basculante.

Destacamos el alto costo de fabricación en aleaciones reforzadas, monobrazos, mecánica de amortiguación desarrollada y alta rigidez.



Figura 30: Basculante de una motocicleta de carretera.

En detalle el propio basculante que tiene ésta motocicleta:

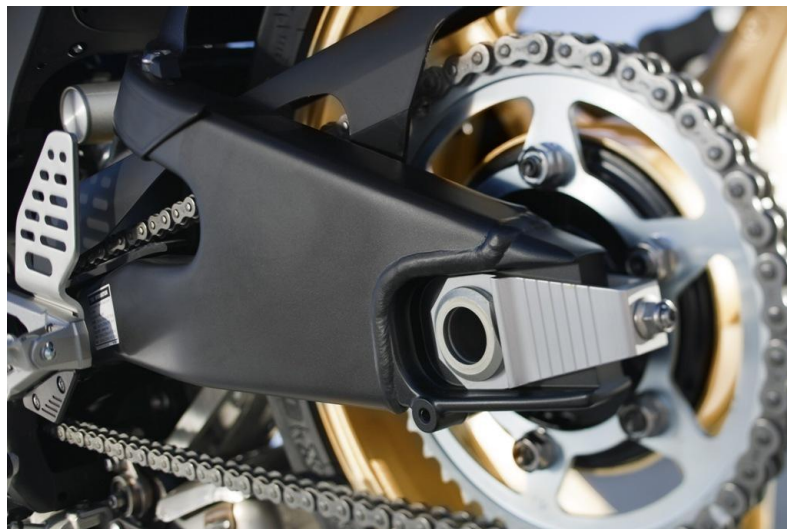


Figura 31: Detalle del Basculante de una motocicleta de carretera.

CARDÁN

Los basculantes de motocicletas de este tipo de transmisión tienen la característica de usar al cardán en si como el elemento portante principal del eje trasero. Para entenderlo mejor, si vemos de cerca las fotos, veremos que el lado derecho es de grandes dimensiones, ya que el cardán es el elemento portante.

A destacar el elevado costo de fabricación (cardán), robustez y sencillez mecánica de la amortiguación.

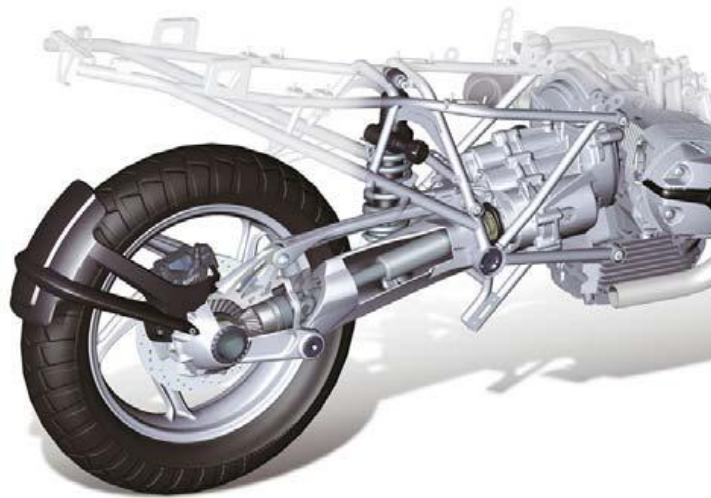


Figura 32: Sistema de transmisión por cardán de BMW.

4.- INTRODUCCIÓN TEÓRICA

4.1.- CONCEPTOS TEÓRICOS DE RESISTENCIA DEL BASCULANTE

BASCULANTE

Los basculantes de las primeras motocicletas no eran lo suficientemente rígidos para soportar las cargas a las que estaban sometidos. Esto llevó a los ingenieros a tratar de rigidizar al máximo este elemento estructural de la motocicleta hasta que finalmente consiguieron llegar a soluciones que sobrepasaban la rigidez necesaria. Ahora lo que se busca es tratar de optimizar el valor de rigidez que nos proporcione un buen comportamiento dinámico.

Por lo tanto se trata de conseguir cierta deformación controlada de los elementos estructurales cuando la motocicleta se encuentra inclinada en la curva. De esta forma la motocicleta es capaz de absorber parte de la energía generada cuando atravesamos un bache y estamos inclinados, ya que en esta situación los amortiguadores de la motocicleta no son capaces de trabajar correctamente.

RESISTENCIA

Los requerimientos de resistencia implican que el basculante sea capaz de soportar todas las fuerzas requeridas para su función. La pérdida de esta función puede ser debida a casos extremos de fuerzas o a la fatiga del material. Esto puede ser debido a una sobrecarga de sus componentes más allá de su límite elástico, por el pandeo de los mismos ya sea por compresión o cizalladura, o por un fallo de las uniones. El fallo por fatiga está relacionado con los detalles de diseño y las uniones, por lo que para evaluarlo, es necesario un conocimiento detallado de los mismos.

RIGIDEZ

La rigidez es la capacidad de un objeto sólido o elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos.

Los coeficientes de rigidez son magnitudes físicas que cuantifican la rigidez de un elemento resistente bajo diversas configuraciones de carga. Normalmente las rigideces se calculan como la razón entre una fuerza aplicada y el desplazamiento obtenido por la aplicación de esa fuerza.

$$K_i = \frac{F_i}{\delta_i}$$

Donde:

F_i es la fuerza estática aplicada sobre el cuerpo en Newton.

δ_i es el desplazamiento producido debido a la fuerza en metros.

K_i es el valor de rigidez en N/m

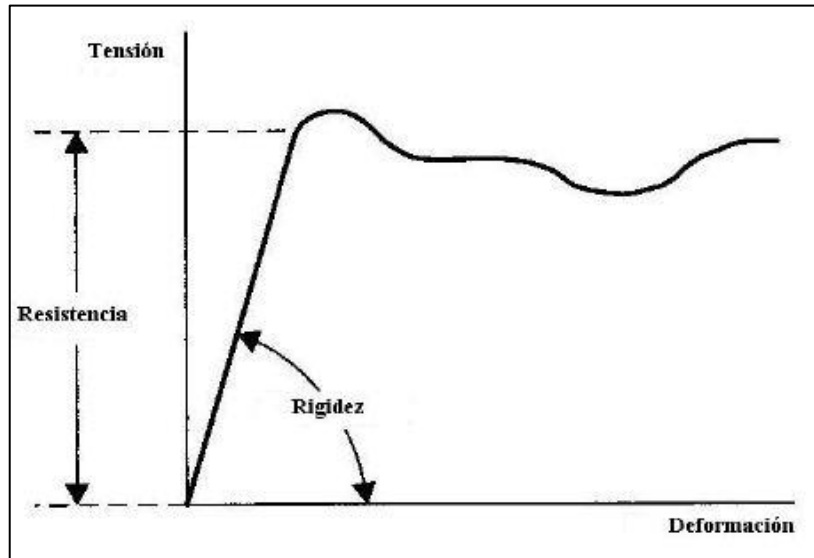


Figura 33: Curva Tensión-Deformación.[14]

Ésta es la gráfica perteneciente al concepto de rigidez, que como se observa en la figura anterior, es la pendiente de la curva, dentro del tramo elástico.

4.2.- ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO

FALLAS RESULTANTES POR CARGA ESTÁTICA

En el diseño de elementos mecánicos, es común realizar un estudio estático estándar para obtener una serie de características y resistencias del material, necesarias para este fin. Para ello, se suele realizar un ensayo de tensión con una probeta, para más tarde observar los resultados en función de la carga aplicada y la deformación producida. De este modo, se hallan distintos puntos críticos que cabe destacar:

- **Punto de fluencia:** Es el punto en el cual la deformación se incrementa muy rápidamente sin un incremento correspondiente en el esfuerzo. La resistencia de fluencia (S_y) corresponde a la tensión a la cual el material presenta una deformación permanente. ϵ_y es la deformación a partir de la cual el material presenta deformación plástica, es decir, no recupera su forma una vez retirada la carga aplicada.
- **Resistencia última:** Representa la tensión máxima (S_{ut}) que es capaz de soportar el material antes de que se produzca su fractura. ϵ_F es el punto de deformación máxima antes de la fractura.

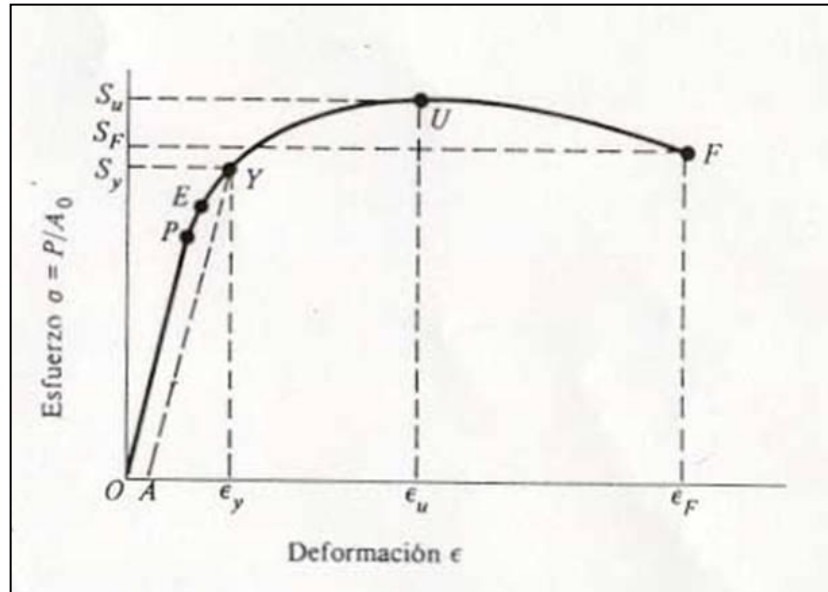


Figura 34: Diagrama Tensión- Deformación.[13]

Para informar sobre la resistencia de un elemento, es necesario conocer la identidad del material, el tratamiento empleado para la creación de su geometría y la carga que va a soportar.

Una carga estática, consiste en una carga estacionaria, que permanece constante en el tiempo sin cambiar su magnitud, su punto de aplicación o su dirección. Una falla puede significar varias cosas, que una parte se ha separado en dos o más piezas, que se ha distorsionado permanentemente, que se ha degradado su confiabilidad, o que se ha comprometido su función, por cualquier razón.

Hipótesis de Tresca

Existen diversas hipótesis de falla. Una de ellas, la cual vamos a considerar para la definición del problema estático del basculante, es la hipótesis del esfuerzo cortante máximo (hipótesis de Tresca).

La hipótesis del esfuerzo cortante máximo estipula que la fluencia comienza cuando el esfuerzo cortante máximo de cualquier elemento iguala al esfuerzo cortante máximo en una probeta de ensayo a la tensión del mismo material cuando esta probeta comienza a fluir.

Si los esfuerzos normales principales son $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, la fluencia ocurrirá cuando:

$$\tau_{max} \geq \frac{S_y}{2} \text{ o bien, } \sigma_1 - \sigma_3 \geq S_y$$

Esta hipótesis predice que la resistencia de fluencia por cortante es la mitad de la resistencia de fluencia por tensión. Es simple de aplicar y es útil en la tecnología de la soldadura ya que no produce grandes errores.

FALLAS RESULTANTES POR CARGA DINÁMICA

Como se ha explicado en el apartado anterior, es común en el diseño de elementos mecánicos realizar un estudio de resistencia bajo condiciones de carga estáticas. Sin embargo, existen ocasiones en los cuales las cargas varían o fluctúan entre ciertos niveles.

Esto es lo que ocurre en ejes que giran a unas determinadas revoluciones, la carga va fluctuando y sometiendo al eje a esfuerzos alternantes de tensión y compresión. Estos esfuerzos son los que se denominan en diseño de máquinas esfuerzos variables.

A menudo, se puede observar en máquinas que han fallado, que el esfuerzo al cual se han visto sometidas es muy inferior al correspondiente a su límite elástico. Esto es debido a que estos esfuerzos se han ido sucediendo un gran número de veces. Este es el motivo por el cual a este tipo de falla se le denomina falla por fatiga.

Generalmente, la falla por fatiga comienza con una pequeña grieta, que apenas se puede apreciar a simple vista, e incluso es difícil de localizar mediante rayos X. Esta grieta comienza a desarrollarse en un punto de discontinuidad del material tal como un cambio de sección un agujero una chaveta, etc. Una vez iniciada la grieta, la concentración del esfuerzo se hace cada vez mayor hasta que finalmente se produce una fractura repentina.

Las fracturas por fatiga se caracterizan por la distinción de dos regiones. La primera de ellas, se debe al desarrollo progresivo de la grieta, mientras que la segunda, se debe a la fractura repentina, y por tanto, tiene un aspecto similar a la rotura de un material frágil.



Figura 35: Falla por fatiga en un eje.[15]

El mayor peligro que presentan las fracturas por fatiga es que ocurren sin previo aviso, una falla por fatiga es repentina y total.

FACTOR DE REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA

El factor de reducción de la resistencia (R_f) a fatiga es un factor que determina el límite de fatiga de probetas sin o con discontinuidades.

$$K_e = \frac{1}{R_f}$$

$$q = \frac{R_f - 1}{K_t - 1}$$

donde, q es el factor de sensibilidad a las ranuras, que depende del material y K_t es el factor de concentraciones teórico.

Para calcular el factor de sensibilidad a las ranuras, existen gráficos que relacionan el tipo de carga, el tipo de material y el radio de la ranura, con la sensibilidad del material a las ranuras (q).

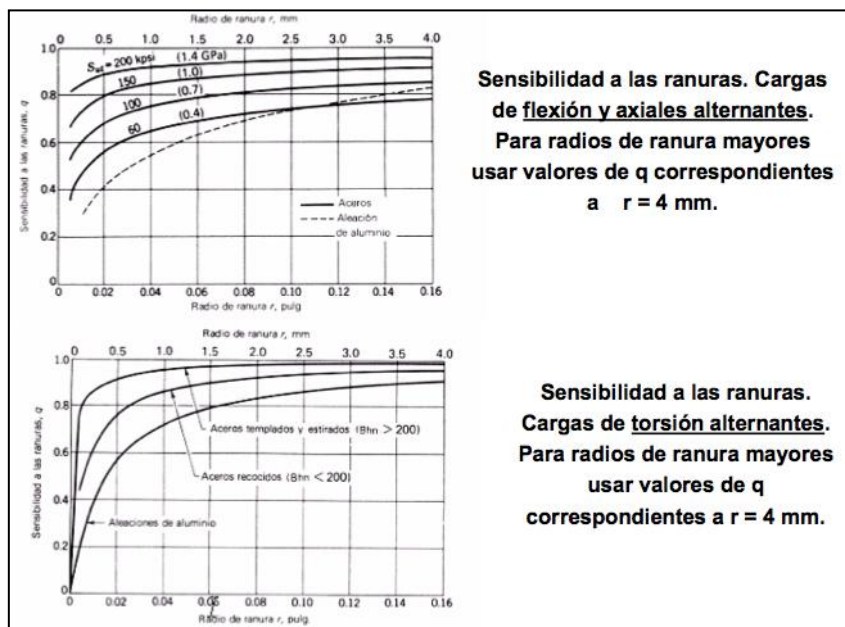


Figura 36: Determinación de q . [12]

Para calcular el factor de concentraciones teórico (K_t), también existen gráficos que relacionan el tipo de carga a las que está siendo sometido el material y una relación constructiva con el valor K_t .

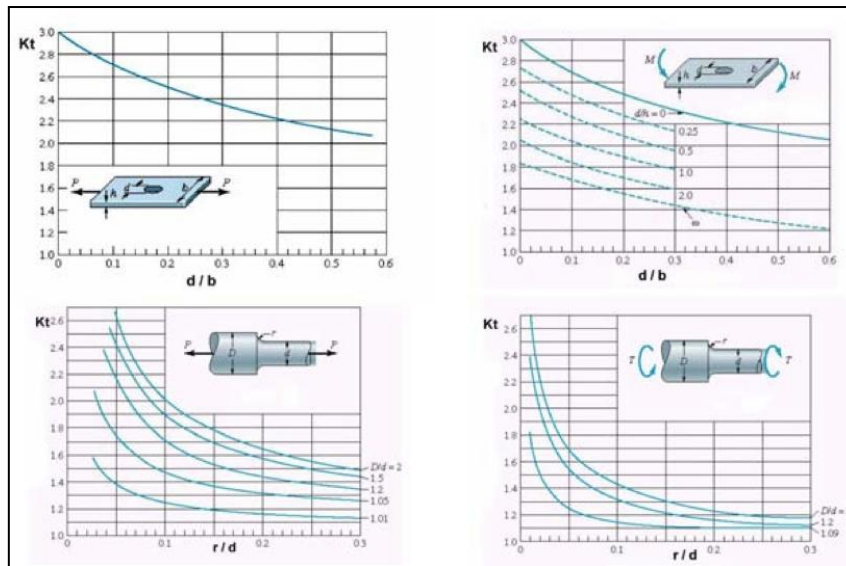


Figura 37: Determinación de K_t . [12]

Una vez obtenidos estos dos valores, se puede despejar el valor del factor de reducción de la resistencia a fatiga mediante la siguiente ecuación:

$$R_f = q(K_t - 1) + 1$$

En este caso, debido a la inexistencia de ranuras, el factor de reducción de la resistencia a fatiga tiene un valor de 1.

5.- HERRAMIENTAS DE DISEÑO Y CÁLCULO

5.1.- INTRODUCCIÓN A PRO ENGINEER

Como se comentó en la introducción del proyecto, el software empleado es Pro Engineer Wildfire 5.0, un programa de diseño asistido por ordenador (CAD 3D) que permite el modelado de piezas, ensamblajes de conjuntos, mecanizado, diseño de moldes y fundición, análisis de modelos, simulación, etc.

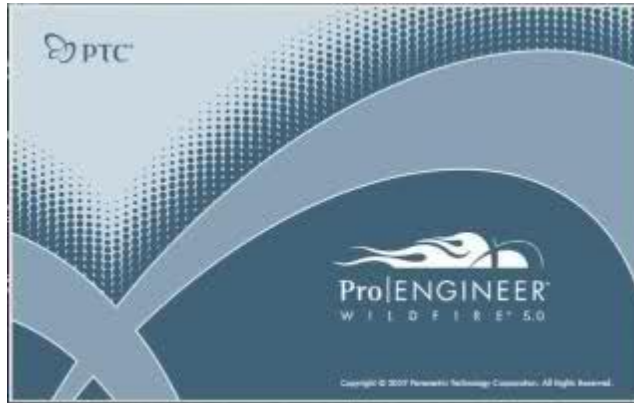


Figura 38: Inicio de sesión en Pro Engineer.

Los módulos que se van a usar para la realización del proyecto son:

- Modelado de piezas: permite crear piezas a partir de planos o esbozos combinando distintas funciones básicas como extrusiones, barridos, cortes, redondeos, vaciados, taladros y ranuras.
- Diseño de conjuntos: permite el ensamblaje de dos o más piezas previamente modeladas, creando un conjunto de modo que quede restringida la posición de cada uno de los elementos que componen el mismo. La posición del componente se basa en conjuntos de definición de posición. Estos conjuntos determinan el modo y el lugar en los que el componente se relaciona con el conjunto. Los tipos de conjuntos son:
 - Rígido: permite conectar dos componentes de modo que no haya movimiento relativo entre ellos.
 - Pin: permite conectar un componente con un eje de referencia de modo que el componente gire o se mueva a lo largo de dicho eje con un grado de libertad.
 - Corredera: permite conectar un componente con un eje de referencia de modo que el componente se mueva a lo largo del eje con un grado de libertad.
 - Cilindro: permite conectar un componente de modo que se mueva a lo largo de un eje específico o se realice la rotación alrededor de él con dos grados de libertad.
 - Plano: permite conectar componentes de modo que se muevan en un plano de forma relativa los unos respecto a los otros con dos grados de

libertad en el plano y un grado de libertad alrededor de un eje perpendicular al plano.

- Bola: permite conectar un componente de modo que se realice su rotación en una dirección con tres grados de libertad.
- Simulación: permite examinar el comportamiento del modelo en la realidad, de modo que se pueda mejorar el diseño sin necesidad de probarlo físicamente, con los costes que ello supone. Dos de los módulos de simulación son el de mecanismos y el de mecánica.

El módulo de mecanismos permite convertir un conjunto ya creado en un mecanismo móvil y analizar su movimiento con o sin la aplicación de fuerzas externas. Una de sus aplicaciones más importantes para la realización del proyecto es el análisis dinámico, que permite el estudio de la relación entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, la masa del cuerpo y su movimiento. El módulo de mecánica permite realizar, entre otras tareas, un estudio estructural de un modelo, definiendo sus restricciones, las fuerzas aplicadas sobre él y las propiedades del material.

Para elegir los elementos auxiliares tales como rodamientos y rótulas, se empleará el uso del catálogo online de SKF.

5.2.- MODELADO DE PIEZAS

El primer paso a realizar en el programa es el modelado de las distintas piezas que componen la motocicleta. Para mostrar en detalle la realización de los modelados de piezas y la forma de realizar los conjuntos, mostraremos en detalle el procedimiento para la creación de una pieza, en este caso, un pistón. A continuación, crearemos un conjunto en el siguiente apartado.

Una vez iniciado el programa, aparece una ventana en la que debemos seleccionar el tipo de archivo nuevo que vamos a crear. Como se puede observar en la *Figura 39*, se puede crear un esbozo, una pieza, un conjunto, un plano, etc. En este caso, seleccionamos el tipo pieza y el subtipo sólido.

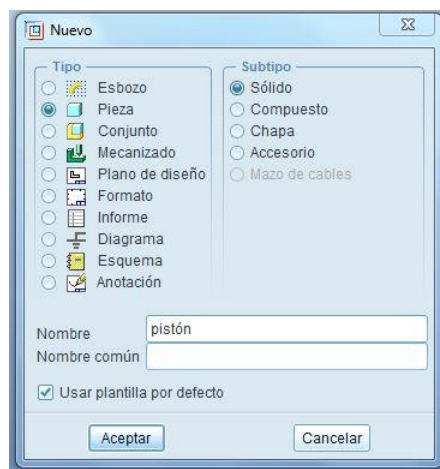


Figura 39: Selección del tipo de archivo.

Como se ve en la figura anterior, existen dentro de Pro Engineer diferentes tipos de archivos:

- Archivos de pieza: está formado por un conjunto de funciones como pueden ser extrusiones, cortes, agujeros, etc. Son archivos con extensión .prt, en nuestro ejemplo, piston.prt
- Archivos de conjunto: puede contener uno o más archivos de tipo conjunto o tipo pieza. Su extensión de archivo es .asm. En el ejemplo que veremos en el apartado siguiente, el conjunto total se denominara (conjunto.asm) y contiene el archivo piston.prt, el archivo biela.prt y el archivo bulón.prt.
- Archivo de dibujo: es un plano en 2D formado por vistas provenientes de los modelos 3D citados previamente (conjuntos o piezas). Su extensión es .drw y podremos observar un ejemplo en el apartado correspondiente a los planos.
- Archivo de esbozo: nos permiten definir en 2D la forma del esbozo para ser usada posteriormente en una función de construcción. Su extensión de archivo es .sec y se verá un ejemplo dentro de éste mismo capítulo.

A continuación aparece la ventana de trabajo, en la que figuran un eje coordenado y tres planos por defecto, los cuales utilizaremos para la creación de cada una de las piezas.

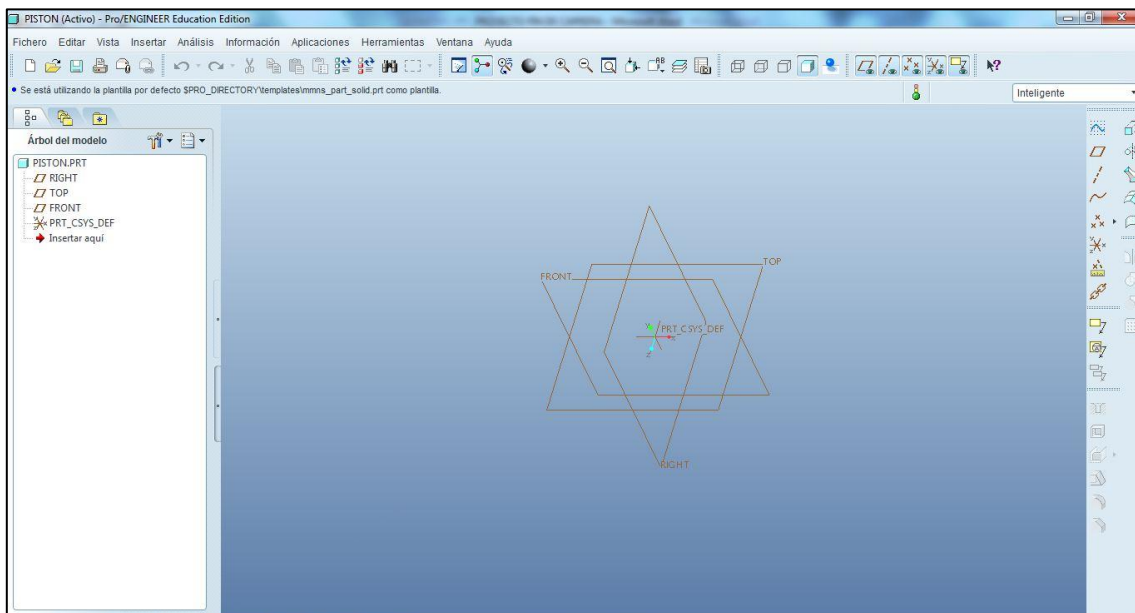


Figura 40: Ventana de trabajo en Pro Engineer.

Antes de comenzar a realizar la pieza, hay que tratar dos aspectos importantes para la creación de archivos, como son la creación del *directorio de trabajo* y el *borrado de memoria*.

Para saber en todo momento donde se está alojando todo el trabajo realizado, hay que crear un *directorio de trabajo* en el que cada vez que terminemos de realizar una operación y guardemos el trabajo realizado, se aloje dentro de la carpeta que nosotros hemos seleccionado y no en la que tiene el programa por defecto.

Para acceder al directorio de trabajo, hay que dirigirse a la pestaña *Fichero* situada en la parte superior del interfaz de trabajo y pulsar en la opción *Definir directorio de trabajo*. Una vez pulsada dicha opción, se nos abrirá una nueva ventana en la que elegiremos la carpeta que será a partir de ahora nuestro directorio de trabajo y donde se guardará todo aquello que realicemos.

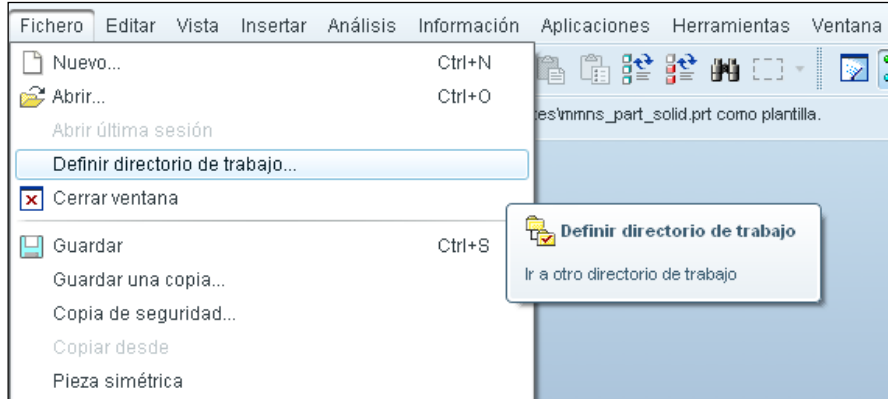


Figura 41: Directorio de trabajo.

Es interesante comentar, que Pro Engineer guarda una versión del modelo activo cada vez que lo guardamos. Es decir, crea un nuevo fichero con el mismo nombre pero con distinta extensión, esta es una diferencia fundamental con otros programas a los que estamos más habituados en los que existe un único fichero que se va sobrescribiendo cada vez que se guarda. Así, ProEngineer nos permite recuperar las versiones anteriores del modelo sobre el que estamos trabajando. Para recuperar estas versiones previas del modelo, basta con activar la opción todas las versiones en el cuadro de diálogo archivo, abrir.

El *borrado de memoria*, es una herramienta que nos permite borrar cualquier archivo que se encuentre almacenado en el disco interno del programa. Una vez que hemos trabajado sobre el modelo, el procedimiento habitual es guardar dicho modelo y cerrar la ventana de trabajo. Al guardar el modelo, éste se almacena en el disco, y al cerrar la ventana de trabajo, el modelo sigue aún cargado en sesión aunque no se pueda visualizar a través de una ventana. En caso de intentar abrir un modelo desde el disco que esté cargado previamente en sesión el sistema visualizará el modelo que tenemos cargado en sesión en vez de abrir de nuevo el modelo del disco. Para ello, debemos borrar la memoria de trabajo no mostrada, accediendo desde la pestaña *Fichero* seleccionando después la opción *Borrar de memoria* tal y como se muestra en la *Figura 42*.

Por ello y para evitar posteriores problemas y bloqueos, hemos de eliminar la memoria no mostrada que se encuentra en el programa.

Si existe más de una ventana abierta es posible cambiar la ventana activa pulsando en la pestaña *Ventana* y posteriormente *Activar*. La ventana activa es aquella sobre la que estamos trabajando.

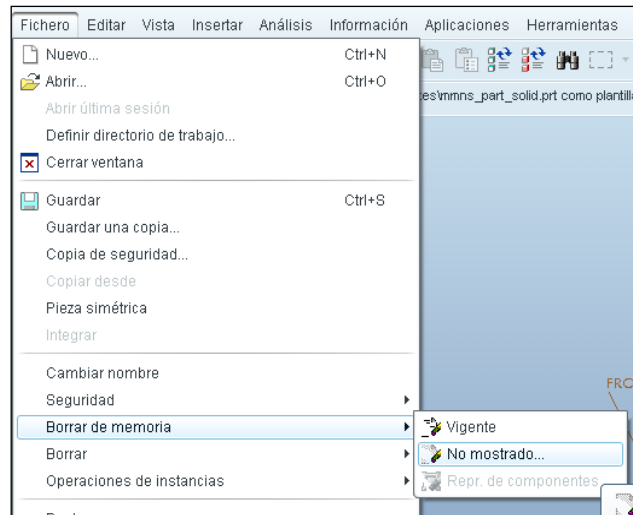


Figura 42: Borrado de memoria no mostrado.

Una vez que hemos explicado en detalle los procedimientos de directorio de trabajo y borrado de memoria, estamos preparados para empezar a modelar dentro de Pro Engineer.

En primer lugar vamos a realizar la pieza pistón. Para ello, debemos seleccionar la función extrusión, dentro de la barra de herramientas de la parte derecha del interfaz de trabajo.



Figura 43: Funciones de trabajo.

La función extrusión es la correspondiente a la primera opción de la segunda columna de la figura anterior.

Una vez hemos pulsado la opción, nos aparecerá una ventana donde debemos escoger el tipo de plano donde vamos a realizar el esbozo de la pieza. Al tratarse de un pistón, primero realizaremos un cilindro macizo y a partir de ahí iremos realizando operaciones hasta llegar al resultado final. Es importante saber qué tipo de plano escogemos, pues después en los conjuntos, las piezas que se hayan modelado con el mismo plano, estarán fácilmente direccionadas en el mismo plano.

Dentro de la función esbozo, tenemos otra tabla de herramientas en la parte derecha de nuestra ventana de trabajo, donde están todas las operaciones que nos permite realizar el programa, como líneas, curvas, círculos, chaflanes, redondeos, etc.



Figura 44: Herramientas de la función esbozo.

Así, la primera operación es la realización de un cilindro macizo, por tanto el esbozo corresponderá a una circunferencia de 21mm de diámetro.

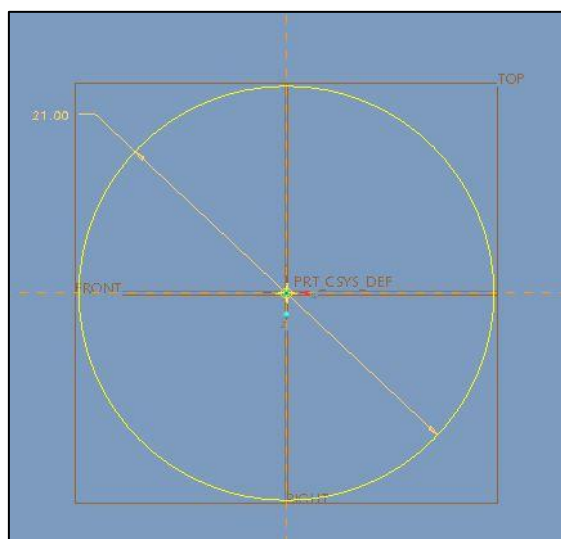


Figura 45: Esbozo del cilindro macizo.

Una vez tenemos el esbozo preparado, se pulsa el símbolo de visto bueno que aparece en la parte inferior de la barra de herramientas de esbozo, se observa en la *Figura 46*, en la parte inferior. Ahora nos aparece, si el esbozo está correctamente completo, una nueva forma de interfaz de pantalla, donde hay que darle volumen a la extrusión. En nuestro caso la longitud de nuestro cilindro macizo es de 18,50mm. Se pulsa el visto bueno y aparece la extrusión realizada.

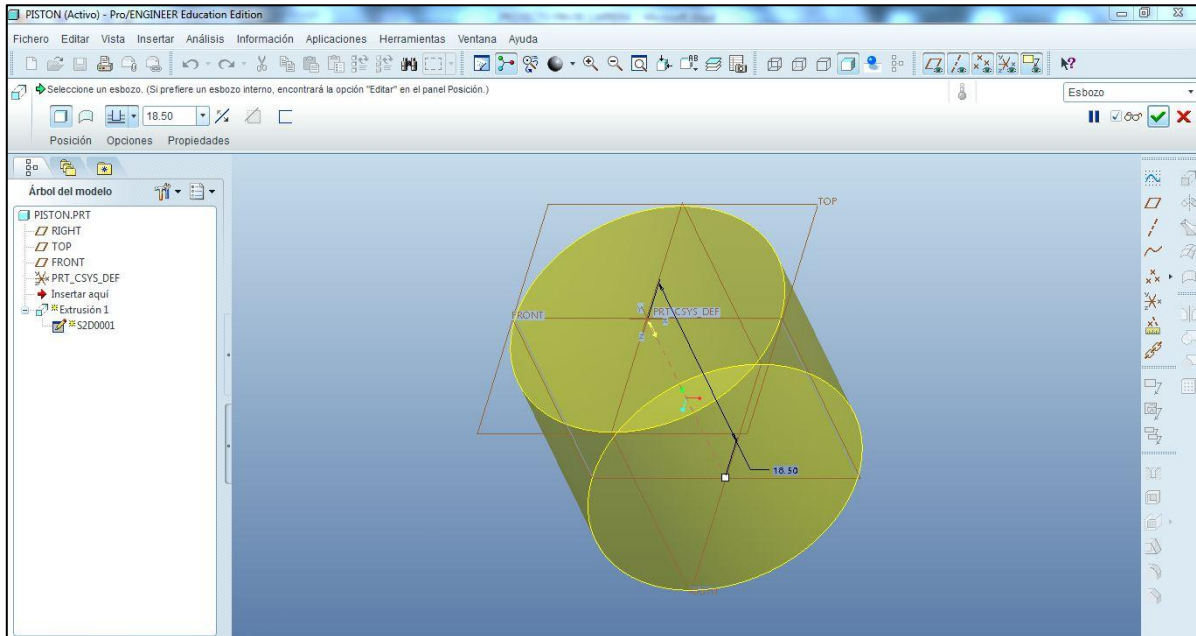


Figura 46: Extrusión.

En la figura anterior se observa una flecha de dirección dentro de lo que es la vista previa del cilindro. Se puede pulsar en la dirección de dicha flecha si se desea que la extrusión se realice en el sentido contrario. Además, es bueno familiarizarse con la barra superior que aparece justo encima de la ventana de trabajo, pues es aquí donde se introducen los datos, donde se decide si se va a realizar una extrusión o un vaciado, donde se cambia la dirección de la operación, etcétera.

La siguiente operación a realizar, es un vaciado de la pieza en su parte inferior, para alojar la biela. Para realizar el vaciado de material, vamos a usar una herramienta muy útil dentro de Pro Engineer, que es la creación de un plano auxiliar. Para realizar un plano auxiliar, debemos pulsar el botón que corresponde al segundo lugar de la primera columna de la *Figura 44*, justo debajo del botón que corresponde al esbozo. Una vez pulsado, aparece una nueva ventana donde nos piden que introduzcamos los datos de nuestro plano nuevo auxiliar. En el ejemplo, nuestro plano es un plano paralelo a la superficie superior del cilindro, con una altura hacia abajo de 2mm.

Así, hemos creado el nuevo plano, que por defecto el programa denomina DTM1. Una vez tenemos el plano auxiliar, debemos pulsar el botón de extrusión y automáticamente el programa interpreta que nuestro plano de esbozo es el plano que hemos creado. En éste momento realizamos el esbozo que corresponderá a la nueva operación. Se trata de un esbozo en forma de óvalo, como se verá en la siguiente figura.

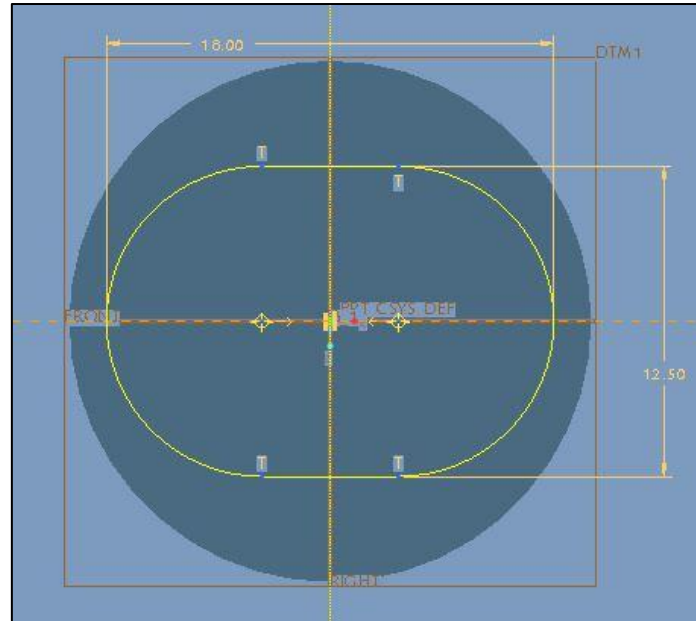


Figura 47: Esbozo perteneciente al vaciado.

Una vez realizado el esbozo, volvemos a pulsar en el botón de visto bueno como hicimos en la anterior operación. La diferencia entre la operación de extrusión y la de vaciado es que en ésta operación hay que pulsar la opción de vaciado de material, que se encuentra en la barra superior de la ventana cuando tenemos una operación de extrusión a punto de crear.

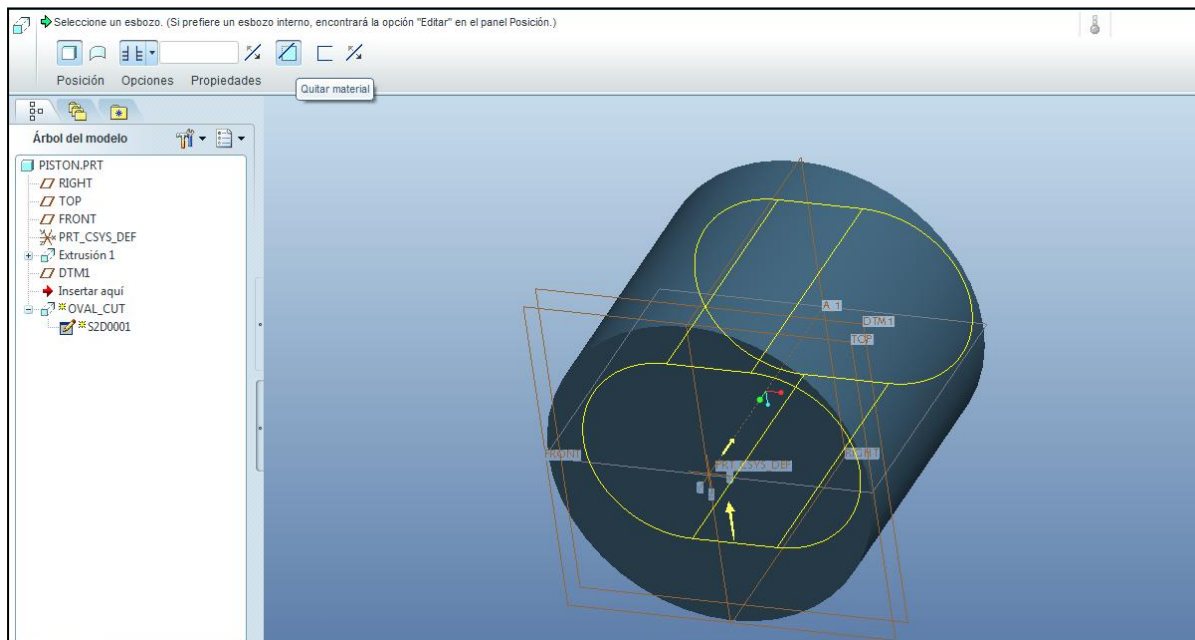


Figura 48: Detalle del vaciado.

En la pieza, el vaciado que se realiza es pasante en la dirección inferior, es decir, desde el plano que hemos creado el esbozo, el vaciado se realiza pasante a toda la pieza.

La siguiente operación es de nuevo un vaciado desde la cara inferior de la pieza. Pulsando la función extrusión, debemos elegir el plano de la superficie inferior que ha dejado la operación anterior. Con las herramientas de esbozo, debemos realizar una circunferencia concéntrica a la superficie de nuestro cilindro, pero ésta vez con un diámetro inferior, exactamente de 19,50mm. Una vez hecho esto, pulsamos el visto bueno y de nuevo nos aparece como en la operación anterior el interfaz de la operación extrusión. Como queremos quitar material, debemos pulsar la opción correspondiente y en éste caso la profundidad del vaciado no es pasante, sino de 6mm tal y como se observa en la siguiente figura.

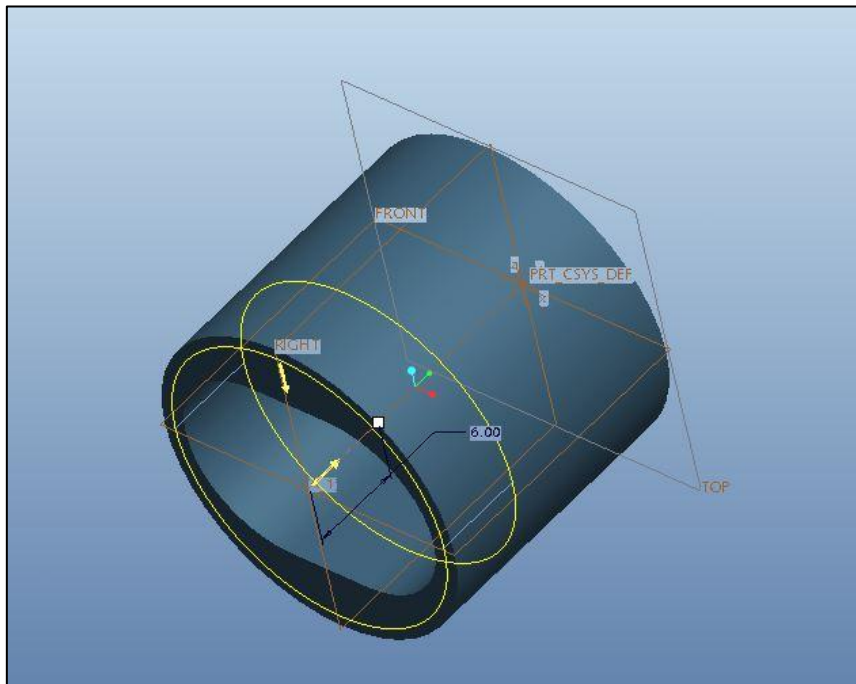


Figura 49: Vaciado.

Por último, debemos realizar un taladro pasante en la superficie lateral del cilindro. Es la última operación para tener el pistón totalmente modelado. Para hacer el taladro, debemos acceder a la operación taladro, pulsando el botón correspondiente a dicha función.

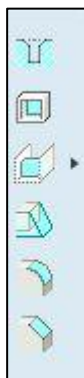


Figura 50: Operaciones especiales.

En la *Figura 50* se observan las diferentes operaciones que he denominado especiales. En nuestro ejemplo empleamos la operación de taladro, que es la correspondiente a la primera de ellas. Una vez accedemos a la operación, debemos introducir los datos de nuestro taladro, esto es, diámetro del mismo, profundidad y posición. En nuestro caso, la figura muestra cómo será el mismo.

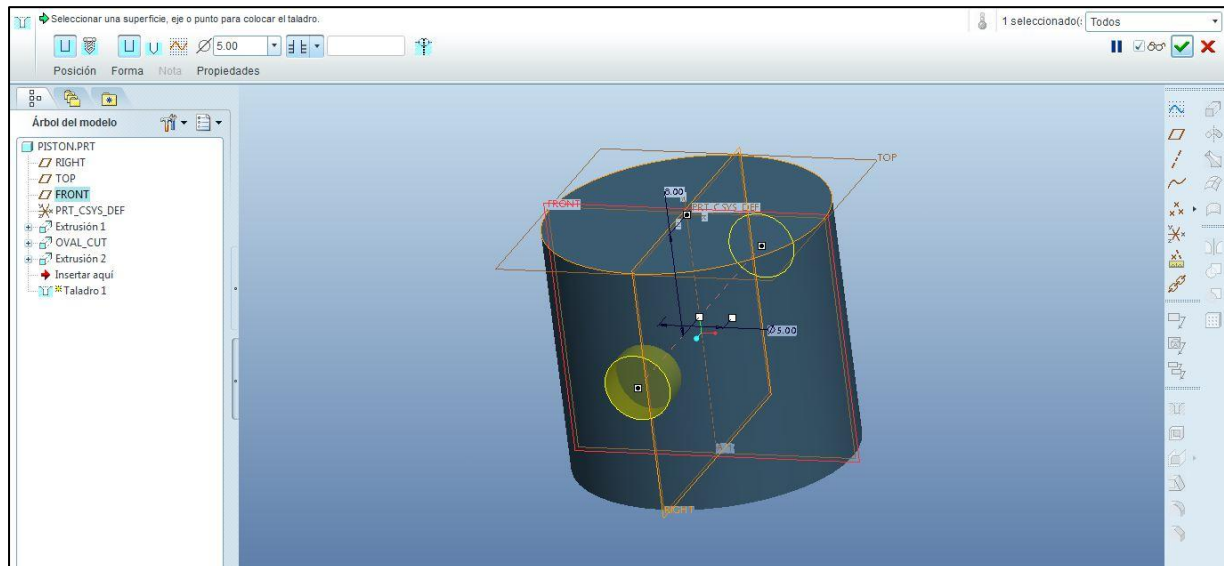


Figura 51: Operación de taladro.

Y una vez realizado el taladro, hemos terminado de realizar nuestra pieza.

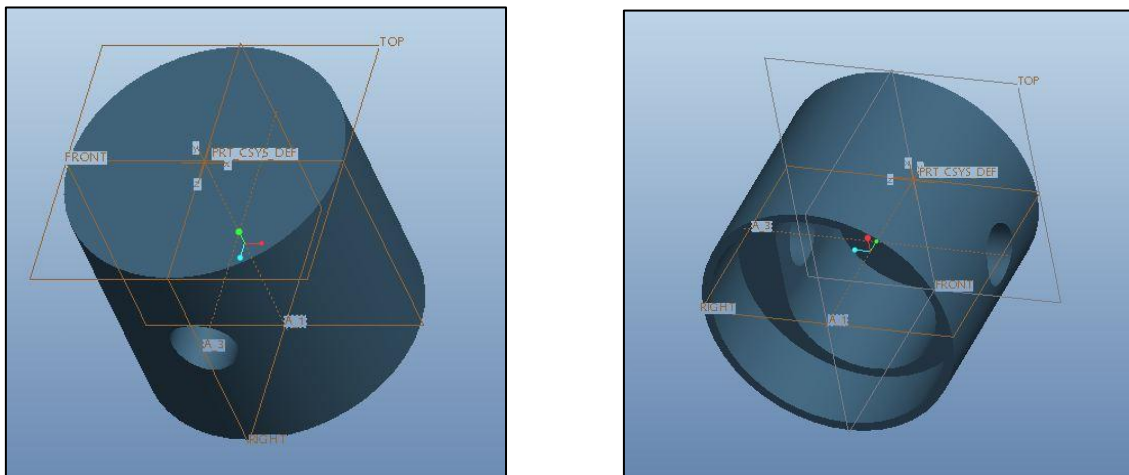


Figura 52: Pistón finalizado.

5.3.- ENSAMBAJE DE PIEZAS

Al tratarse de un programa de diseño en 3D, podemos unir todo tipo de piezas en conjuntos o subconjuntos para su posterior análisis. Como se ha visto en el apartado anterior, existían diferentes tipos de archivos, dentro de los cuáles está el de conjunto. Ensamblar varias piezas requiere saber en todo momento que tipo de restricción o qué tipo de movimiento libre va a tener la pieza en su futuro funcionamiento real. El conjunto nos permite de algún modo, observar realmente el ensamblaje real del conjunto que estemos realizando.

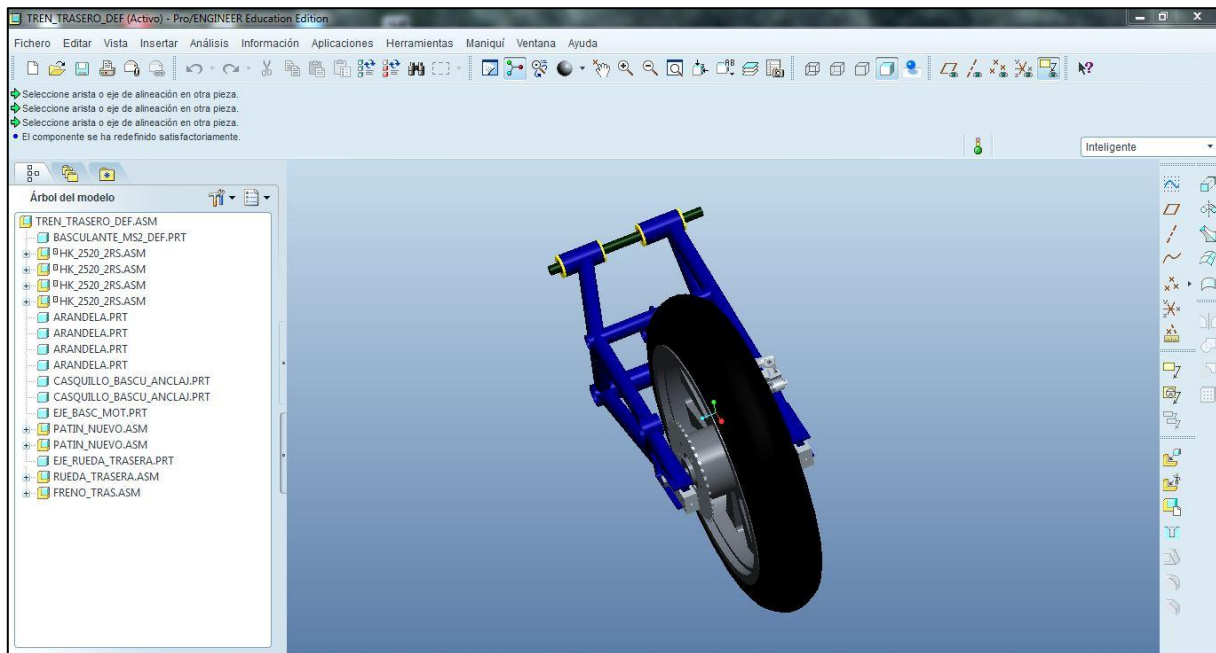


Figura 53: Conjunto de tren trasero de motocicleta.

Realizaremos el procedimiento de un conjunto más sencillo que el de la figura anterior. La *Figura 53* muestra el conjunto de piezas que componen el tren trasero de la motocicleta que hemos diseñado.

Para comenzar a realizar un conjunto, se debe crear un nuevo archivo de conjunto. Es importante tener en cuenta que cuando se crea un conjunto de piezas, el directorio de trabajo debe ser el mismo para todas las piezas que componen el conjunto, es decir, las diferentes piezas o subconjuntos deben estar alojados en la misma carpeta de archivos para que así pueda realizarse el conjunto.

Explicado esto, la ventana de conjunto tiene tres operaciones en la barra de herramientas de las que no se ha hecho referencia.



Figura 54: Herramientas de conjunto.

La primera de las operaciones que aparecen en la *Figura 54* es la que corresponde a montar las piezas del conjunto. En nuestro ejemplo, montaremos tres piezas, el pistón que realizamos en el apartado anterior, junto con una biela y el bulón que une las dos piezas. Por lo tanto, pincharemos sobre el botón de montar y en la ventana de nuestro directorio de trabajo escogeremos la pieza pistón, que por defecto se nos quedará totalmente restringida a cualquier tipo de movimiento.

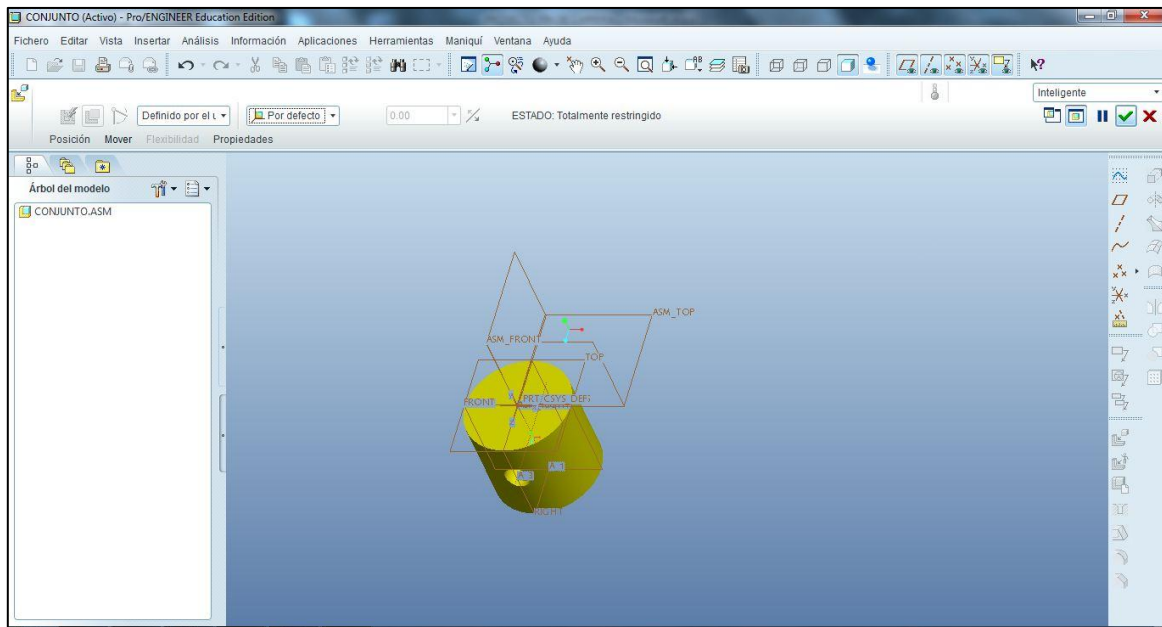


Figura 55: Montaje del pistón.

Como se observa en la figura, el estado de la pieza es totalmente restringido. Pulsamos el visto bueno para dejar la pieza colocada por defecto. A partir de éste momento todas las modificaciones que se hicieran a ésta pieza traerá consecuencias a las sucesivas piezas que tengan una relación con ella. Lo siguiente que vamos a introducir al conjunto es el bulón que unirá la biela y el pistón. Para ello, volvemos a pulsar el botón de montar una nueva pieza y seleccionamos la pieza, en nuestro caso, el bulón. Una vez que está el bulón en la ventana, debemos introducir en la pieza nueva insertada, una serie de conexiones que satisfagan la función de la pieza en el conjunto.

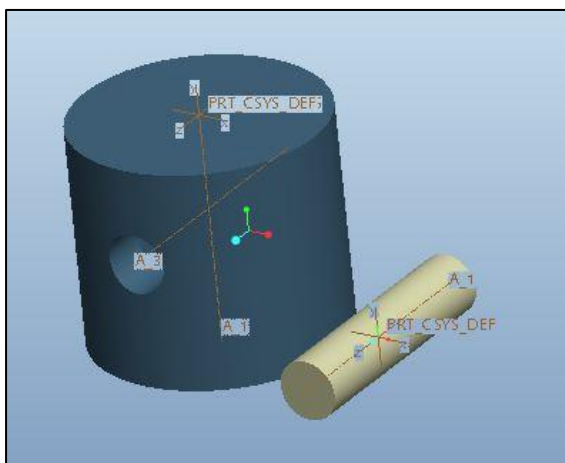


Figura 56: Pistón y bulón sin conexiones establecidas.

Para realizar las operaciones de conexión, debemos hacer uso de la barra de conexiones que aparece siempre que introducimos una nueva pieza al conjunto. Dependiendo del tipo de pieza y la conexión que necesitemos introducir, escogeremos una u otra. En nuestro caso utilizaremos la alineación de los ejes de cada pieza y de los dos planos Front de cada pieza. En la figura siguiente se muestra el resultado de la operación, con la pieza ya encajada en su posición del conjunto.

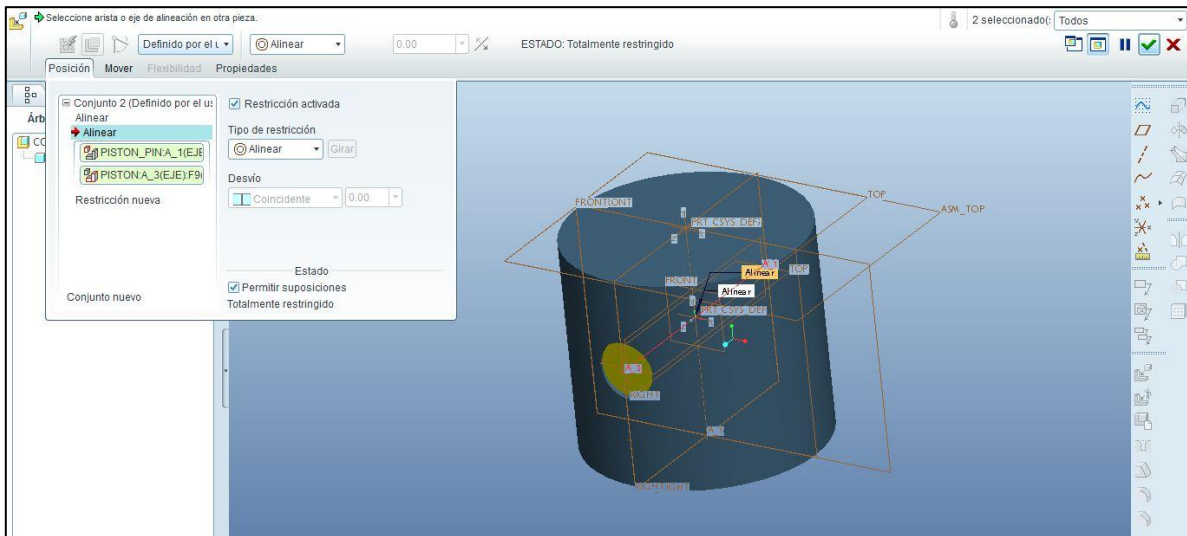


Figura 57: Conexiones de piezas.

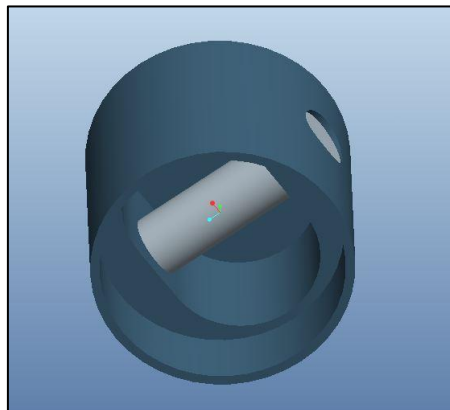


Figura 58: Bulón montado sobre el pistón.

Las figuras anteriores nos muestran como se ha realizado el montaje y su posición es la adecuada. A continuación, el siguiente paso es realizar el montaje de la biela en su posición adecuada, dentro del conjunto.

Una vez más, para ello, debemos seguir el mismo procedimiento que hemos realizado con anterioridad, es decir, pulsar el botón de montar y seleccionar la pieza llamada biela que recordemos, debe estar ubicada en la misma carpeta donde se guarde el conjunto y donde estén las dos piezas que forman el conjunto final.

Las operaciones para realizar el montaje correcto de la biela son: una alineación de los planos frontales de la biela y el bulón y una operación *Insertar* donde debemos seleccionar la superficie interior del alojamiento del bulón que tiene la biela, con la superficie exterior del propio bulón.

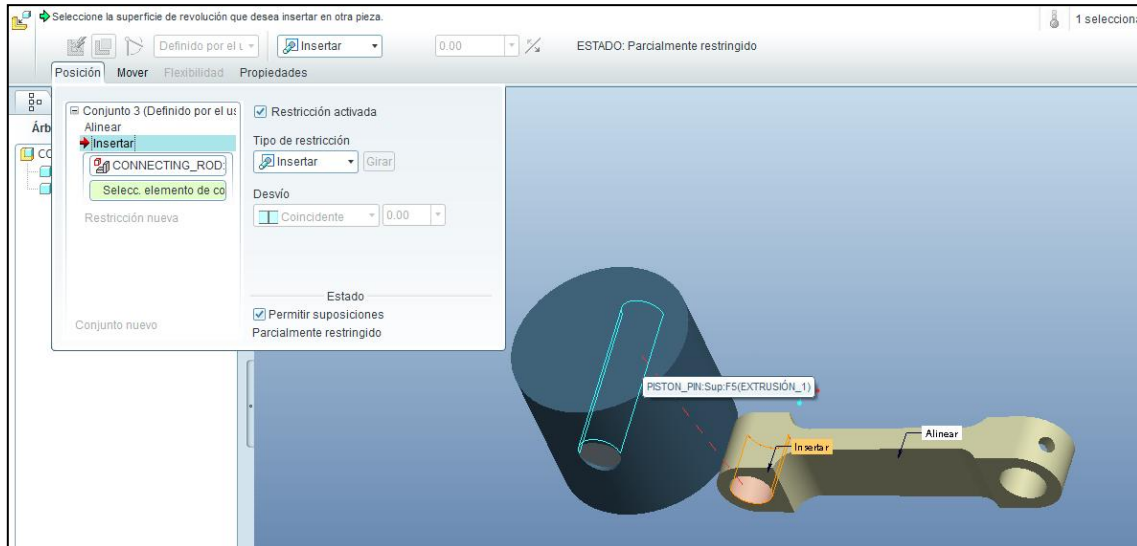


Figura 59: Operación Insertar.

Así, hemos conseguido posicionar la biela en su emplazamiento, pero debemos posicionarla en su posición correcta, es decir, perpendicular a la superficie del bulón. Para ello, usamos la operación de movimiento de componentes, que está situada en la barra de herramientas de conjunto, en la parte superior de la ventana de trabajo. El resultado final es el siguiente.

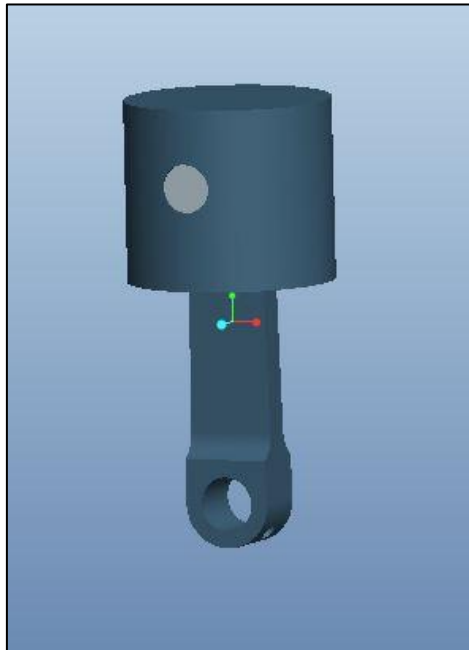


Figura 60: Conjunto biela-bulón-pistón final.

Y de ésta forma podremos realizar diferentes conjuntos en Pro Engineer. Este conjunto una vez guardado, puede usarse como subconjunto de otro conjunto que queramos realizar. La dificultad irá en aumento en la medida que añadamos más o menos piezas y o subconjuntos.

5.4.- PLANOS DE PIEZAS

Al igual que otros programas de diseño, Pro Engineer también tiene la opción de realizar planos de diseño de las piezas o conjuntos que se han modelado anteriormente. En este apartado citamos muy brevemente éste aspecto y simplemente mostramos un plano de una de pieza cualquiera.

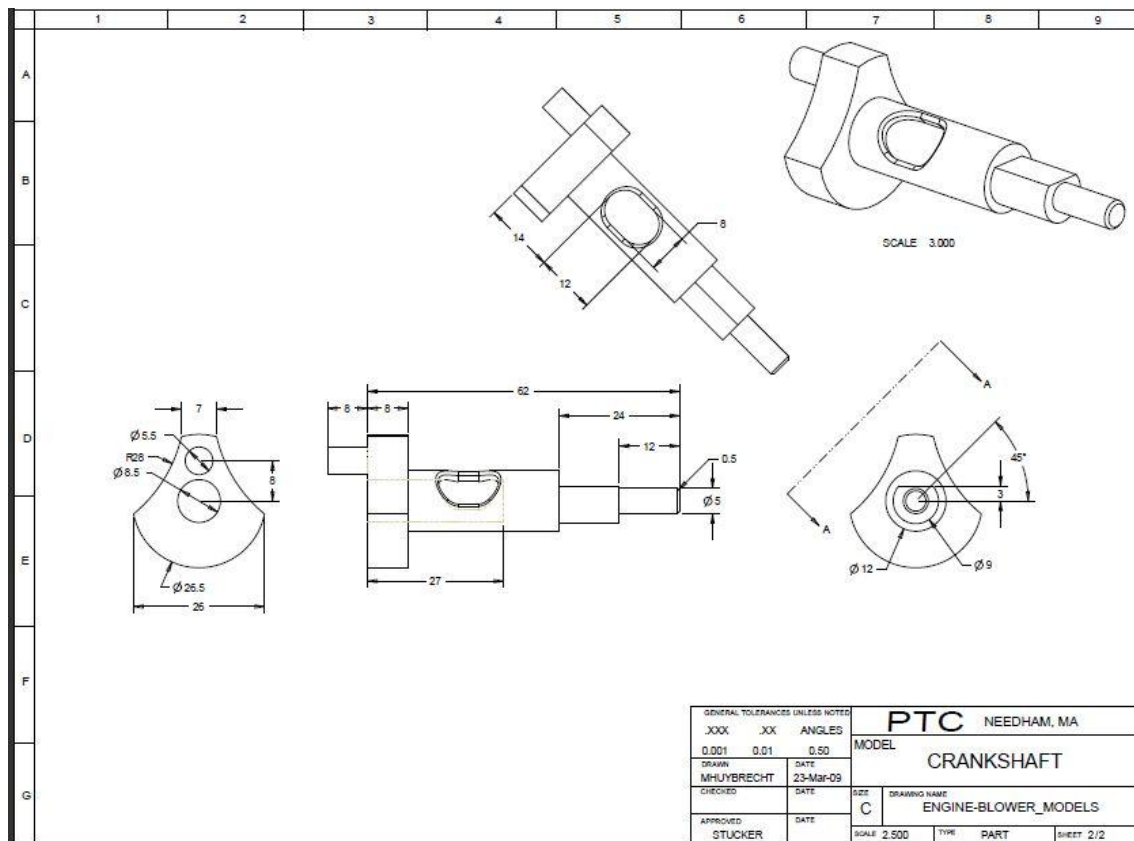


Figura 61: Plano de pieza en Pro Engineer.

5.5.- MÓDULO MECHANICA

Mechanica es el módulo de Pro-Engineer que nos permite realizar simulaciones estructurales y térmicas avanzadas a todo tipo de geometría incluyendo sólidos, vigas, o modelos mixtos. Mechanica nos permite realizar análisis de deformación no lineal, análisis estático de tensión previa, análisis modal de tensión previa, análisis térmico transitorio, análisis dinámicos de respuesta, etc.




En nuestro caso, hemos empleado la herramienta de análisis estructural, tanto para realizar los ensayos estáticos, como los ensayos dinámicos. Para realizar dichos ensayos, hemos de conocer los datos adecuados de cargas, restricciones de movimientos y tipo de material que se va a emplear en los mismos.

	Carga de Fuerza - Momento		Estructura		Control
	Carga de Presión		Resorte		Región de Superficie
	Carga por gravedad		Masa		Región de Volumen
	Carga Centrifuga		Interface		Esbozo
	Carga Global de Temperatura		Soldadura		Plano
	Restricción de Desplazamiento		Conexión Rígida		Eje
	Restricción de Simetría		Conexión con Peso		Curva
	Carcasa		Material		Esbozo
	Par de Carcasa		Asignación del Material		Sistema de Coordenadas
	Temperatura Prescrita		Simulación de Medida		Carga de Calor
	Visualización de Simulación		Condición de Convección		Simetría Térmica
	Crear Mallado		Resultados		Análisis y Estudios de Mecánica

Figura 62: Comandos del módulo Mechanica.

Explicaremos brevemente los pasos a seguir para realizar un ensayo estático en el módulo Mechanica:

- En primer lugar debemos abrir la pieza que queremos analizar.
- Una vez esté la pieza en la pantalla principal debemos iniciar el módulo Mechanica de la siguiente manera: Aplicaciones > MECHANICA. Dejar las unidades por defecto. A continuación aparece una ventana de Mechanica, en la cual se elige el tipo de análisis que se desea realizar (Estructural o térmico).
- El siguiente paso es asignarle a la pieza el material adecuado. Para ello pulsaremos en el icono Materiales y aparecerá la librería de materiales del programa. Se elige el material que se desee y se agrega en la siguiente columna

pulsando en  tal y como se muestra en la *Figura 63*. Se pueden seleccionar varios materiales ya que esta ventana es para preseleccionar dichos materiales y ver sus propiedades. Además, *Mechanica* ofrece la oportunidad de crear nuevos materiales. Pulsando en el icono  se definen las propiedades estructurales y térmicas del material, en esta ventana se encontraran datos de la densidad, conductividad térmica, se selecciona el criterio de falla, coeficiente de expansión térmica, etc. Luego se pulsa en ‘Asignación de Materiales’  para asignar el material final de la pieza.

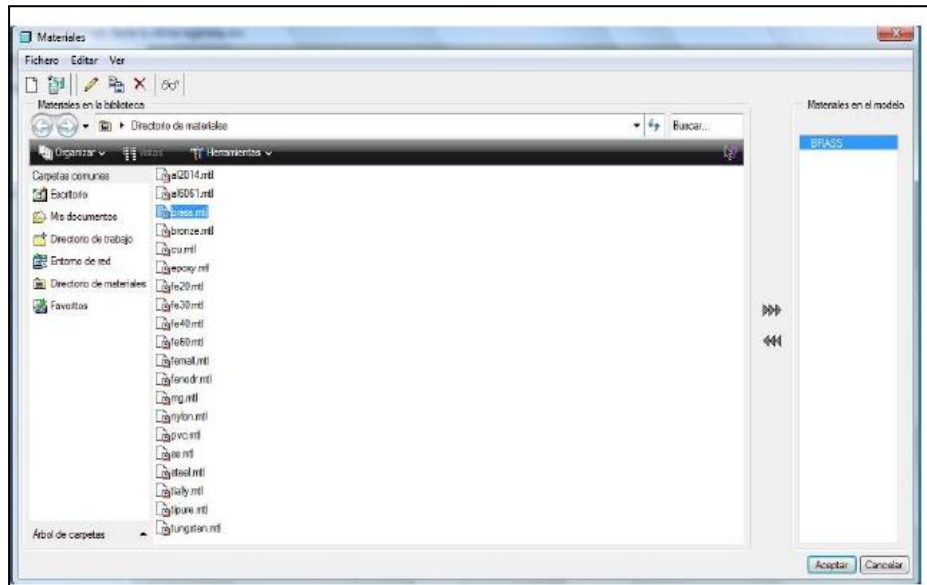



Figura 63: Librería de materiales en *Mechanica*.

- Asignado el material de la pieza, el siguiente paso es la creación de restricciones de movimiento que vaya a sufrir la pieza. Para aplicar restricciones a la pieza se pulsa el icono de Restricciones . Así, la pieza quedará restringida a los movimientos que deseemos y cuando se le apliquen las cargas simulará que esa zona no se mueve.

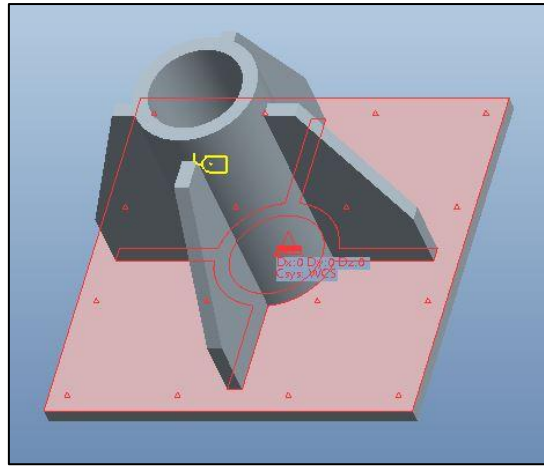



Figura 64: Restricciones de desplazamientos.

- Una vez hemos hecho las restricciones de movimiento, debemos aplicar a la pieza la carga o cargas que soportará, para ello pulsaremos en Carga de Fuerza –Momento . En el cuadro de dialogo se presenta la opción de colocar la fuerza en cualquiera de los ejes (X, Y, Z).

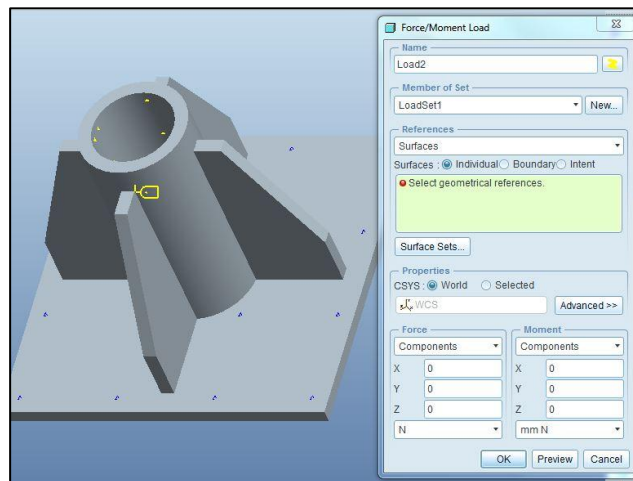



Figura 65: Aplicación de cargas.

- El siguiente paso será crear el mallado de la pieza. En general, la malla requerida para el análisis es generada automáticamente por el programa, pero esta puede ser modificada por el usuario. En nuestro caso no realizaremos el mallado manual sino que el mallado será el que nos proporcione el programa.
- Por último, definiremos el análisis. Primero se especifica el tipo de análisis, estructural (estáticos, modales, dinámicos, de fatiga) o térmico (transitorio o estacionario). Luego se ordena al programa el comienzo del análisis presionando el botón .

Una vez hemos realizado los pasos anteriores, lo siguiente es observar los resultados de nuestro análisis. Cuando nuestro análisis se ha realizado correctamente, aparecerá la ventana de resultados de Mecánica, donde debemos seleccionar el tipo de resultado que queremos visualizar para sacar las conclusiones adecuadas y ver si nuestra pieza reúne las condiciones que queremos que cumpla.

En la *Figura 66* se observa la ventana de selección de resultado, en éste caso observaremos el análisis de tensión de Von Misses, para saber los efectos que han producido las cargas a nuestra pieza.



Figura 66: Ventana de selección de resultados.

Una vez pulsamos en “OK and Show”, aparecerá nuestro análisis con la distribución de tensiones provocada por las cargas aplicadas a la pieza. En la ventana aparecerá además una leyenda de colores para saber el valor de tensión que tiene la zona, así como el intervalo de tensión máxima o mínima.

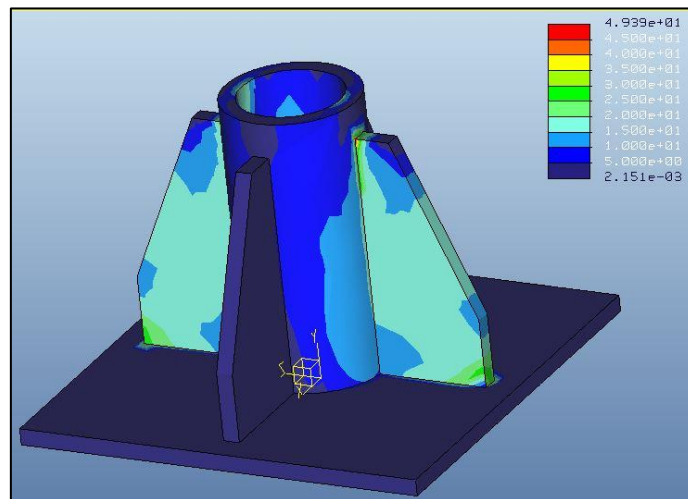


Figura 67: Resultados de Tensión de Von Misses.

Además, podemos saber el valor de la tensión máxima y mínima siguiendo la siguiente instrucción: *Info > View Max* y automáticamente la tensión máxima quedará señalizada en el punto exacto así como su valor.

Hemos obtenido resultados de tensión, pero se pueden obtener también resultados de desplazamientos, energía, etc.

6.- METODOLOGÍA

6.1.- DATOS DE PARTIDA

La organización obliga al uso del material que ellos mismos se encargan de proporcionar. A continuación se muestran los elementos que afectan a este proyecto:

Llanta trasera: exactamente es la llanta de la Yamaha YZF 125R

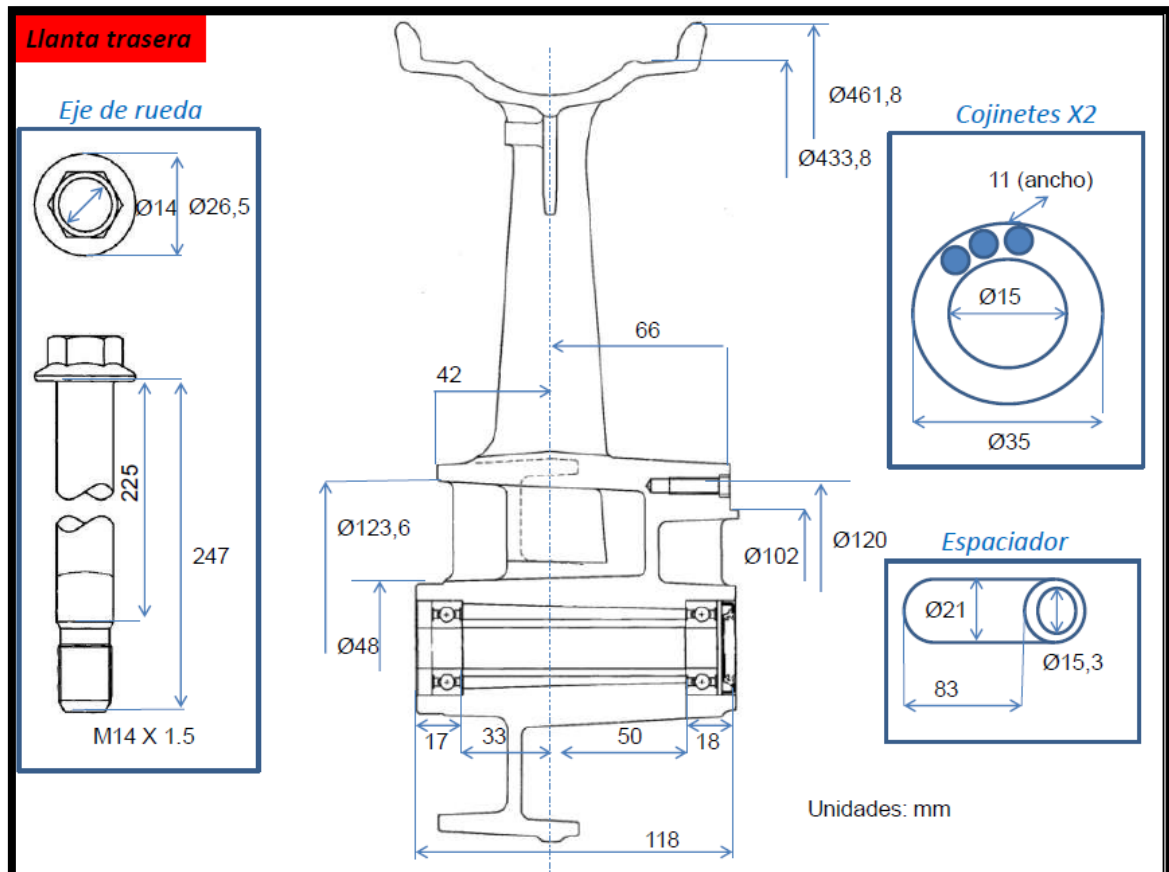


Figura 68: Plano de llanta trasera.

Amortiguador trasero: se trata de un amortiguador muy básico con un recorrido útil de 50mm y 54mm entre topes.

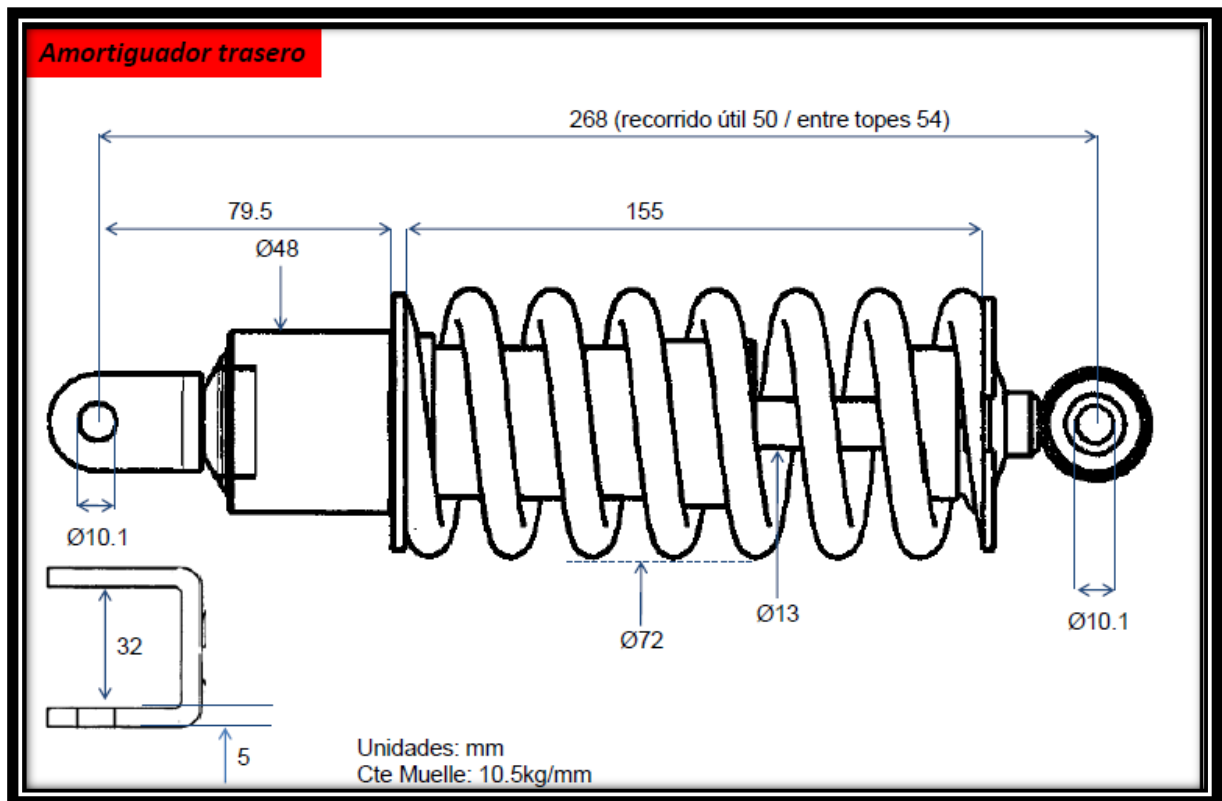


Figura 69: Plano amortiguador.

6.2.- CRITERIOS DE CONSTRUCCIÓN DEL BASCULANTE

Por tanto, llegado este punto, ¿cuál tendríamos que escoger y que cualidades le vamos a pedir que cumpla?

Para obtener una correcta elección definitiva del tipo y material del basculante a fabricar, primero estudiamos cuales son las necesidades funcionales que debe cumplir. Para ello realizamos una búsqueda intuitiva de forma que obtenemos la gran mayoría de requerimientos funcionales.

Rigidez

Es una de las características principales del basculante. La estructura de la motocicleta debe ser capaz de conservar los parámetros geométricos dentro de unos valores adecuados ante todas las condiciones de carga que preveamos que pueden tener lugar. La rigidez está relacionada con la deformación temporal que sufre la estructura cuando le aplicamos una carga y después la descargamos. Por lo tanto trataremos de diseñar un basculante lo más rígido posible. Una vez hayamos obtenido los resultados de los análisis de elementos finitos, nos fijaremos en los desplazamientos que ha recibido al aplicarle las cargas tengan un valor que satisfaga nuestro criterio. Esta rigidez se deberá tener en cuenta siempre en relación al peso y cantidad de tubos a implementar, ya que un entramado complejo y rígido dificultaría la fabricación.

Cargas y restricciones

El basculante tendrá que ser capaz de soportar todas las cargas sin entrar en la zona plástica del material. Habrá situaciones en las que soportará el peso de todos los componentes, del piloto, debido a la transferencia de cargas. También hay que tener en cuenta las reacciones en los neumáticos así como las cargas dinámicas que se generen en el funcionamiento de la moto. Como intentar estudiar todas estas formas de cargar el basculante nos extendería mucho el proyecto, nosotros nos centraremos en cumplir las pruebas de la organización en cuanto a resistencia más un plus de coeficiente de seguridad personal de 1.2 de la masa (teórica) total de la moto más piloto. La forma de cargar el basculante será para todas las versiones la misma para poder así comparar de forma objetiva:

En el eje del basculante-unión chasis y motor se le coloca una restricción de tipo Pin bloqueando el movimiento de traslación y permitiendo el de rotación alrededor del eje de este. En el anclaje del sistema de suspensión al basculante recibe una restricción total del movimiento. Y la carga a aplicar es de 2000N repartida en las dos superficies finales de los basculantes en donde apoya el eje de la rueda.

El estudio de elementos finitos se realizará mediante el modulo Mechanica del programa ProEngineer que se configurará en el modo de mallado automático y single-pass, siendo estos modos los mejores para nuestros estudios.

Tabla 2: Cuadro resumen de acciones en MEF.

	Tipo de acción
Anclaje Motor-Chasis-Basculante	Restricción tipo Pin bloqueando movimiento de traslación del eje y permitiendo rotación de éste.
Anclaje del sistema de suspensión	Restricción total de movimiento
Superficie superior del patín (cada lado)	Carga de 2000N

A continuación, en la *Figura 70* aparece en el módulo Mechanica las restricciones y las cargas a las que va a estar sometido.

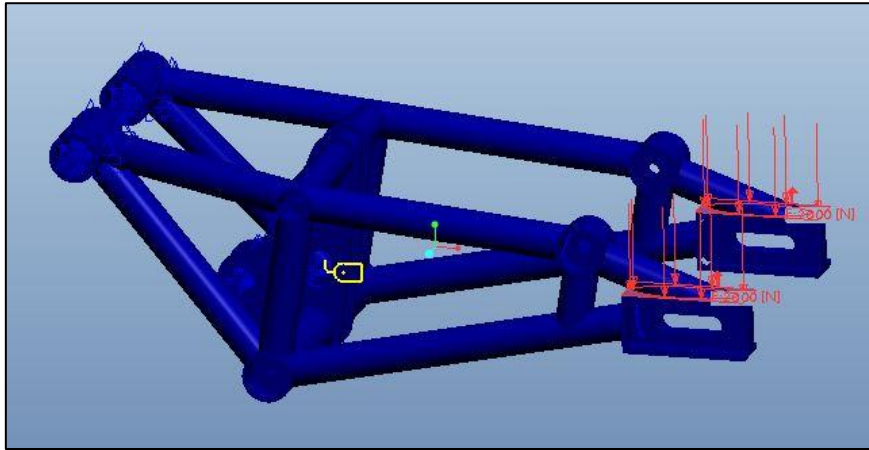


Figura 70: Restricciones y cargas.

Masa

Como en todos los vehículos de competición la masa es una característica importantísima, por ello trataremos de reducirla lo que se pueda, pero no tenemos porque obsesionarnos con aligerarla al máximo, ya que la motocicleta tiene que llegar a una masa mínima de 95kg.

Material

El material seleccionado influirá tanto en el diseño como en el coste del prototipo, ya que va ligado a la dificultad de fabricación. Nuestro proyecto al estar limitado económicamente por patrocinadores debemos escoger un material con una relación calidad/precio buena. En un primer momento se cuenta con un acero de excelentes calidades de 970MPa de límite elástico, aunque nunca se descarta un acero más común y más barato de 672MPa. Es uno de los parámetros que debemos tener en cuenta sin llegar a concretar uno solo hasta el final del diseño.

Fabricación

Dificultad: Se deben conseguir los resultados esperados y de no encarecer demasiado el coste.

Disponibilidad de empresa especializada: Debemos disponer de personal cualificado para la correcta fabricación del prototipo.

Coste: Tanto del material a utilizar como la mano de obra necesaria para la fabricación.

Espacio

Debemos tener en cuenta la posibilidad de realizar algún cambio sobre la motocicleta en el menor tiempo posible, es decir, que sean accesibles los elementos modificables como por ejemplo la regulación de la precarga del amortiguador en la suspensión trasera. Esta función es necesaria en las motocicletas de competición ya que continuamente están sometidas a cambios durante las carreras.

Montaje

El basculante tendrá que ser diseñado para que sea fácil el montaje de todos los elementos que componen la suspensión trasera. Además para ello se tendrá que utilizar un potro de soldadura.

Variabilidad

Al tratarse de un primer prototipo y de no disponer de datos de partida, trataremos de realizar una configuración que nos permita realizar algunos cambios sobre los parámetros geométricos de la motocicleta que son compartidos con otros departamentos de la motocicleta. Estos cambios se refieren a la posición de la rueda trasera y a la posición del anclaje del amortiguador, una manera de corregir posibles pequeños errores cometidos en la fase de fabricación sin tener que volver al re-fabricado completo.

Estética

Es importante tratar la estética del basculante, primero porque el piloto tiene que ver a simple vista que le transmite seguridad y después porque estamos hablando del prototipo de una pieza enmarcado en una competición de ingeniería.

Resistencia a impactos

Al igual que se expuso anteriormente en el apartado de cargas, el basculante será utilizado para la competición donde es muy probable que se produzcan caídas e impactos. Así, el basculante deberá estar preparado para soportar golpes, ya que es un elemento del que no hay repuestos y en caso de rotura, habría que abandonar la competición.

Una vez desarrollados los requerimientos funcionales que el basculante debe cumplir, hemos empezado a diseñar conceptualmente los distintos componentes y los mecanismos de funcionamiento del mismo. Para ello hemos hecho diseños preliminares y modelos con el fin de explicar mejor las ideas que hemos tenido. Cada modelo tendrá delante el número de versión, siendo “VAA_ *número de versión*” lo que diferenciará cada versión del resto.

Para un correcto diseño del basculante dividimos el diseño en dos partes principales. La primera consiste en la configuración geométrica de las barras que unirán la pipa de dirección con el eje del basculante. Las cotas de estos puntos vienen determinadas por el estudio dinámico del comportamiento de la motocicleta. La función principal del chasis es unir estos puntos de forma que permanezcan invariables. Por lo tanto trataremos de realizar un chasis lo más rígido posible.

La segunda parte del diseño se centrará en el diseño de todos los anclajes, uniones y partes del sistema de suspensión debido a que el basculante es el encargado de soportar todas las fuerzas, estos deberán ser estudiados. Por tanto de cada modelo se realizará un análisis de elementos finitos, para analizar los esfuerzos y desplazamientos de las solicitaciones que se han expuesto anteriormente.

Además, se calculará el coeficiente de seguridad que tiene la pieza a través de la siguiente expresión:

$$C.S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{max} \cdot S_1}$$

Donde:

- σ_{adm} es el límite elástico del material.
- σ_{max} es la tensión máxima que soporta el modelo.
- S_1 coeficiente de mayoración de tensión de 1,2.

Por último, una vez que hayamos diseñado el basculante definitivo, se realizará un análisis de fatiga, con las mismas solicitaciones.

6.3.- PARÁMETROS GEOMÉTRICOS

En cuanto a configuración geométrica nos referimos a la disposición de las barras que unen el eje del basculante con el eje de la rueda trasera. Trataremos de optimizar la geometría que nos proporcione mayor rigidez en ciertos ensayos. Sin entrar con demasiada profundidad en cómo se producen los anclajes del amortiguador trasero.

Cuanto mayor sea el número de barras y mayor sea el espesor de estas conseguiremos una mayor rigidez. El problema es que un aumento excesivo del peso del basculante penaliza en carrera por lo que para nuestro caso buscamos una relación rigidez/peso adecuada.

Éstos son los parámetros geométricos de la motocicleta:

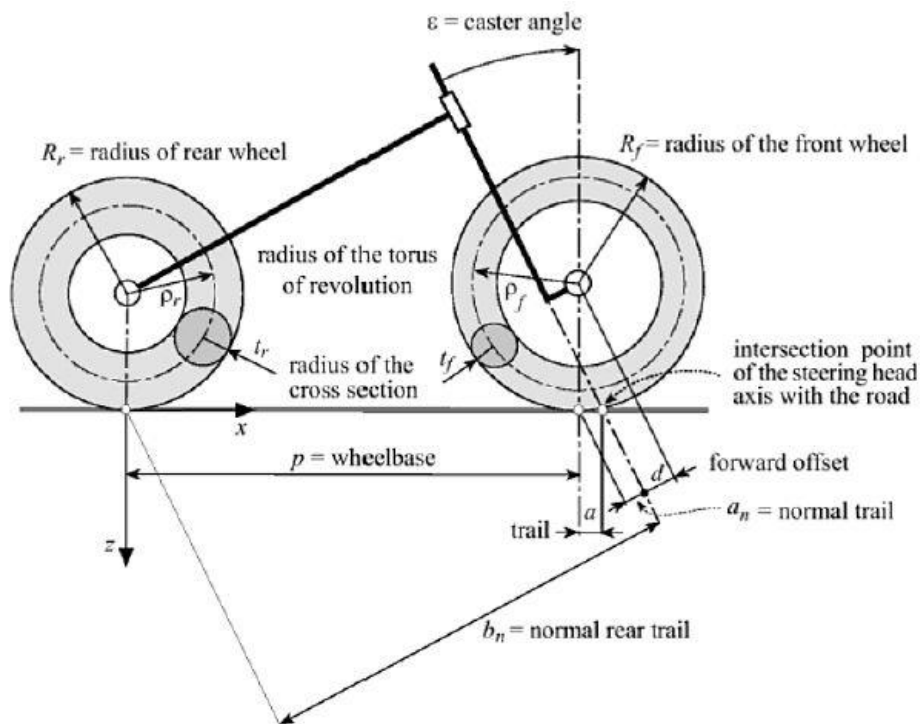


Figura 71: Parámetros geométricos de la motocicleta.

Cada uno de estos parámetros tiene un nombre y una importancia dentro del comportamiento de la motocicleta.

Llamamos “ ϵ ” al ángulo de lanzamiento que es la inclinación hacia atrás que tiene el eje de dirección. En la *Figura 71*, la distancia entre ejes viene determinada por “ p ” y se define como la distancia existente entre los ejes de las ruedas delantera y trasera. El avance es la distancia que existe al nivel del suelo entre el centro de la huella de contacto del neumático y el punto en el cuál el eje de dirección intersecta con el suelo, en la figura se denomina como “ a ”.

Los parámetros geométricos de la motocicleta:

Distancia entre ejes: 1230mm

Basculante distancia entre centros: 500-600mm

Ángulo de lanzamiento: 22°

Ángulo del basculante: 11°

Junto con el departamento de chasis y los demás integrantes del equipo, se acordó que los datos geométricos serían los citados anteriormente.

7.- DISEÑO Y ANÁLISIS

7.1.- ASPECTOS PRELIMINARES

Las funciones principales de un basculante de motocicleta son principalmente de dos tipos: estáticas y dinámicas. Desde el punto de vista estático el basculante debe de ser capaz de soportar fuerzas del amortiguador, el peso del piloto, del motor, la transmisión y todos los accesorios necesarios para el correcto funcionamiento. La otra función es la que se refiere a la dinámica de la moto, el basculante, junto a otros elementos como chasis, horquilla y ruedas son los encargados de proporcionar una buena adherencia, manejabilidad y confort.

Para que la motocicleta sea capaz de seguir la dirección deseada, el basculante debe ser capaz de proporcionar una buena resistencia a la flexión y a la torsión. Además debe conseguir mantener la rueda trasera en el mismo plano que la delantera y que no se modifiquen los parámetros geométricos impuestos, ante las fuerzas a las que será sometido debido a los baches, la propia transmisión, las frenadas y las curvas.

7.2.- ELEMENTOS FINITOS

El método de los elementos finitos (MEF) ha adquirido una gran importancia en la solución de problemas ingenieriles, físicos, térmicos, etc. Permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de solucionar por métodos matemáticos tradicionales. Esta circunstancia obligaba a realizar prototipos, ensayarlos e irrealizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado coste tanto económico como en tiempo de desarrollo.

El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a sus hipótesis básicas. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios, pero en menor número, ya que el primero puede acercarse bastante más al diseño óptimo.

La idea general del MEF es la división de un continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no.

En cualquier sistema a analizar podemos distinguir entre:

- Dominio. Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema.
- Condiciones de contorno. Variables conocidas y que condicionan el cambio del sistema: cargas, desplazamientos, temperaturas, voltaje, focos de calor, etc.
- Incógnitas. Variables del sistema que deseamos conocer después de que las condiciones de contorno han actuado sobre el sistema: desplazamientos, tensiones, temperaturas, etc.

El dominio se divide mediante puntos (en el caso lineal), mediante líneas (en el caso bidimensional) o superficies (en el tridimensional) imaginarias, de forma que el dominio total

en estudio se aproxime mediante el conjunto de porciones (elementos) en que se subdivide. Los elementos se definen por un número discreto de puntos (nodos), que conectan entre si los elementos. Sobre estos nodos se materializan las incógnitas fundamentales del problema. En el caso de elementos estructurales estas incógnitas son los desplazamientos nodales, ya que a partir de estos podemos calcular el resto de incógnitas que nos interesen: tensiones, deformaciones, etc. A estas incógnitas se les denomina grados de libertad de cada nodo del modelo. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo.

Planteando la ecuación diferencial que rige el comportamiento del continuo para el elemento, se llega a formulas que relacionan el comportamiento en el interior del mismo con el valor que tomen los grados de libertad nodales. Este paso se realiza por medio de unas funciones llamadas de interpolación, ya que estas ‘interpolan’ el valor de la variable nodal dentro del elemento.

El problema se formula en forma matricial debido a la facilidad de manipulación de las matrices mediante ordenador. Conocidas las matrices que definen el comportamiento del elemento (en el caso estructural serán las llamadas matrices de rigidez, amortiguamiento y masa, aunque esta terminología ha sido aceptada en otros campos de conocimiento) se ensamblan y se forma un conjunto de ecuaciones algebraicas, lineales o no, que resolviéndolas nos proporcionan los valores de los grados de libertad en los nodos del sistema.

Como se observó en el capítulo de Metodología, para el análisis por elementos finitos al programa se le debe indicar un material, en nuestro caso elegimos acero, y como el programa venia predeterminado con unas características, decidimos no cambiarlas para estos análisis. Contamos con una resistencia de límite elástico de 672MPa para el material final utilizado, pero antes, con los primeros diseños contábamos con un material que tenia de limite elástico 970MPa.

7.3.- MODELOS DE BASCULANTE

7.3.1.- PRIMER MODELO: VAA_1

En nuestro primer modelo, el basculante está realizado con tubo rectangular y en él se observa la simplicidad del modelo, uniones de tubos con los patines del eje trasero al final del mismo. Nos sirvió de guía para realizar las siguientes versiones y para poco a poco darle forma a un modelo que nos fuera viable. Evidentemente se rechazó por no tener funcionalidad y no se realizaron ensayos de elementos finitos.

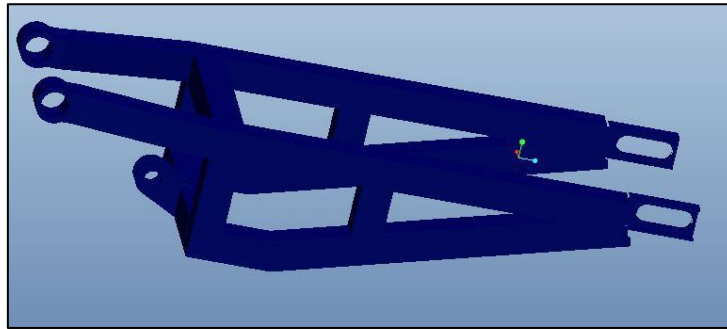


Figura 72: Primer modelo VAA_1.

7.3.2.- MODELO VAA_2

A diferencia del primer modelo, en el segundo seguíamos pensando que la mejor configuración era la de realizar un basculante con tubos rectangulares, en vez de tubos redondos. Se aprecian diferencias en el anclaje del motor con el chasis y el anclaje del amortiguador, que se cree que esa posición vertical será la más adecuada. Empezamos a pensar que nuestro basculante no seguiría una línea simétrica, debido a que por el lado de la cadena, sus brazos deben dejar el espacio oportuno para dicho elemento. Fue un basculante que también quedó rechazado y al igual que el anterior no se estudió el análisis de esfuerzos.

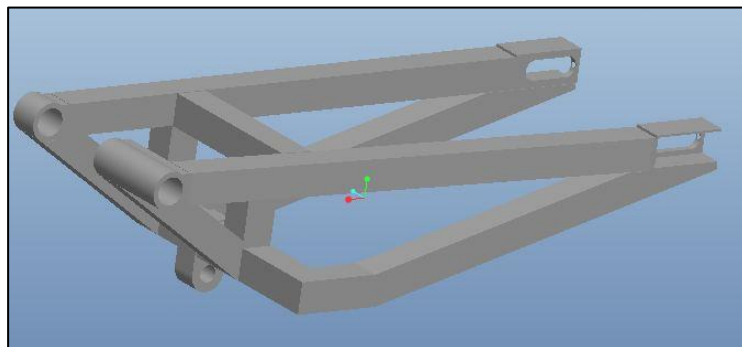


Figura 73: Basculante VAA_2.

7.3.3.- MODELO VAA_3

En el tercer modelo, se aprecian diferencias en el anclaje del motor y chasis con el basculante. Pensamos que el anclaje debería ser así, aunque debemos añadir que se trabajó sin tener aún ninguna idea de las cotas que tendría el motor y los anclajes del mismo. Aun así, tuvimos que rechazarlo por intuir que habría concentrada demasiada tensión en la zona del anclaje debido al cambio de sección. Seguimos manteniendo la idea de que el basculante debe tener un perfil rectangular y es a partir de éste momento cuando empezamos a trabajar con perfil redondo.

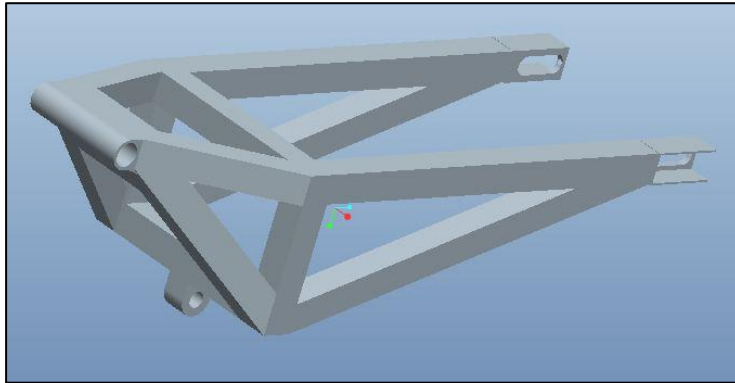


Figura 74: Basculante VAA_3.

7.3.4.- MODELO VAA_4

No es hasta el siguiente modelo, cuando decidimos cambiar de perfil y comenzar a seguir la línea de un basculante tubular, al igual que nuestro futuro chasis. En la *Figura 75*, se pueden observar grandes diferencias, salta a la vista que la estética se ve bastante mejorada y poco a poco aprendemos nuevas técnicas del programa que nos permite trabajar con mayor rapidez y eficacia.

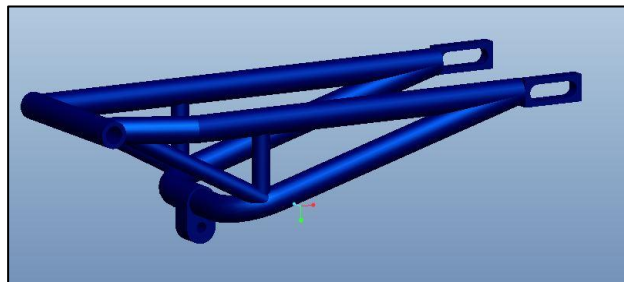


Figura 75: Basculante VAA_4.

Aún así, creemos que debemos seguir mejorando y no nos convence del todo el modelo, por lo tanto intentamos seguir mejorando y queda rechazado. En nuestro quinto modelo, las cosas serán diferentes y se observará que la parte delantera es diferente. Las barras de la parte delantera, se unen en la soldadura de las barras verticales que unen la parte superior de la inferior.

7.3.5.- MODELO VAA_5

Una vez que hemos recibido los datos de anclaje del motor por parte de la organización, nuestra idea de diseño mantenía la estética pero sufría alguna modificación considerable. El anclaje del motor debería ser diferente y así se muestra en nuestro siguiente modelo.

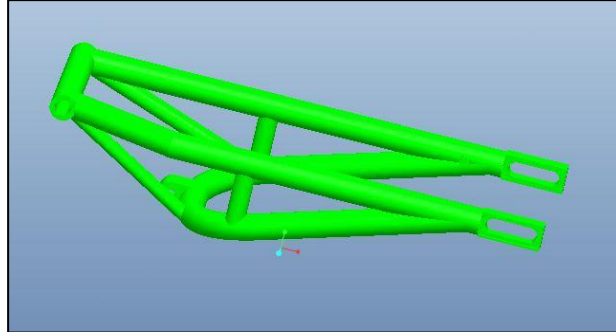


Figura 76: Basculante VAA_5.

7.3.6.- MODELO Y ANÁLISIS VAA_6

Éste modelo nos permite mostrarnos una idea clara de cómo va a ser nuestra pieza definitiva. A partir de ahora, únicamente hay que optimizarla, modificar pequeños detalles e ir resolviendo problemas que puedan aparecer. Por ejemplo, en la parte trasera puede observarse que los patines no quedan estéticamente bien anclados a la parte final del modelo, por tanto empezamos a trabajar en aquellas zonas donde las cosas no estaban bien diseñadas. En el siguiente modelo se podrá observar que los patines de la cadena están mejorados considerablemente y que el basculante tiene mejor forma.

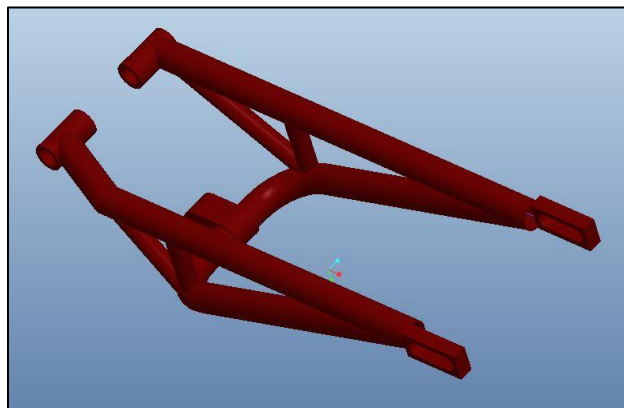


Figura 77: Basculante VAA_6.

7.3.7.- MODELO Y ANÁLISIS VAA_7

En éste modelo, además de haber modificado la parte trasera del basculante, donde irá ubicado el eje de la rueda, nos dimos cuenta que el brazo inferior no debe acabar en la parte inferior del patín, sino en la superior, pues es en el patín donde va alojado el eje de la rueda y donde se carga el mayor número de esfuerzos. Por tanto en los siguientes modelos habrá un cambio significativo. Pensamos en el diámetro definitivo del tubo, así como los espesores del mismo, para así poder realizar el envío a fabricación.

En todos los modelos anteriores se trabajaba con un tubo de 22,20mm de diámetro, el tubo Reynolds que teníamos pensado poner, pero al hacer el conjunto del chasis-motor-basculante, nuestra pieza se quedaba demasiado pequeña en comparación a las anteriores, por lo tanto, decidimos hacer más grande los tubos con un diámetro más elevado.

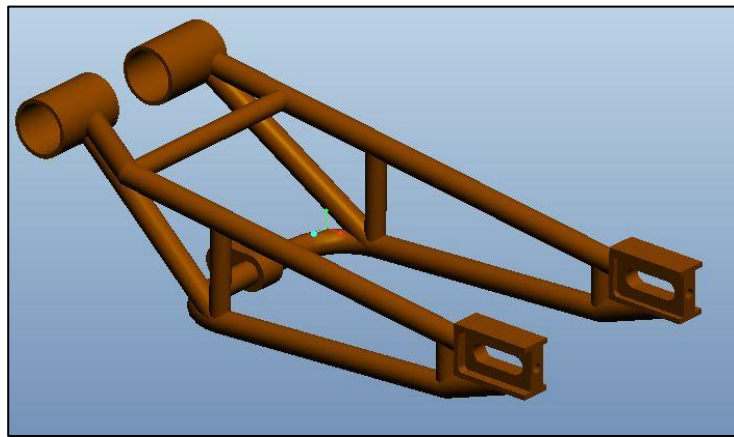


Figura 78: Basculante VAA_7.

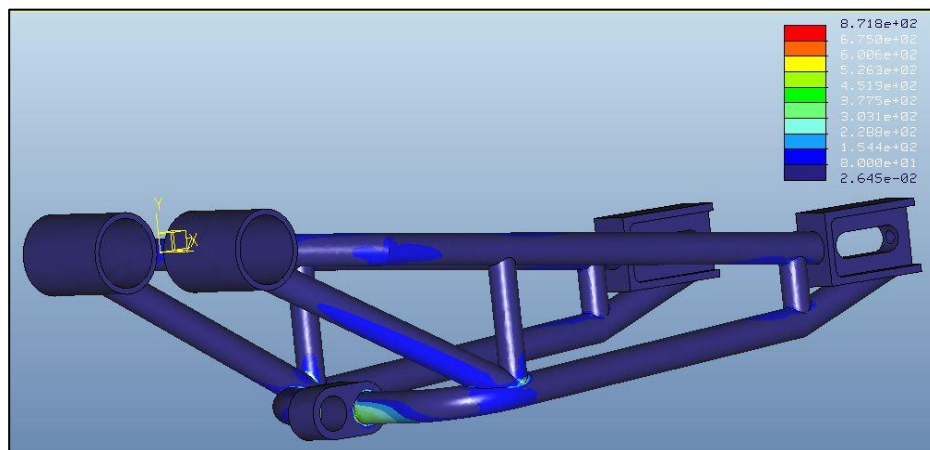


Figura 79: Tensión Von Mises en VAA_7.

$$C.S = \frac{970}{872 \cdot 1,2} = 0,93(rechazado)$$

La figura anterior muestra el análisis de esfuerzos producido por las solicitaciones planteadas. Se observa que el coeficiente de seguridad no es adecuado y por tanto aunque a priori el modelo podría ser adecuado, queda rechazado por no satisfacer las condiciones que se plantearon.

Tabla 3: Tabla deformación en VAA_7.

Deformaciones (mm)	X	Y	Z
	$6,06 \cdot 10^{-1}$	3	2,37

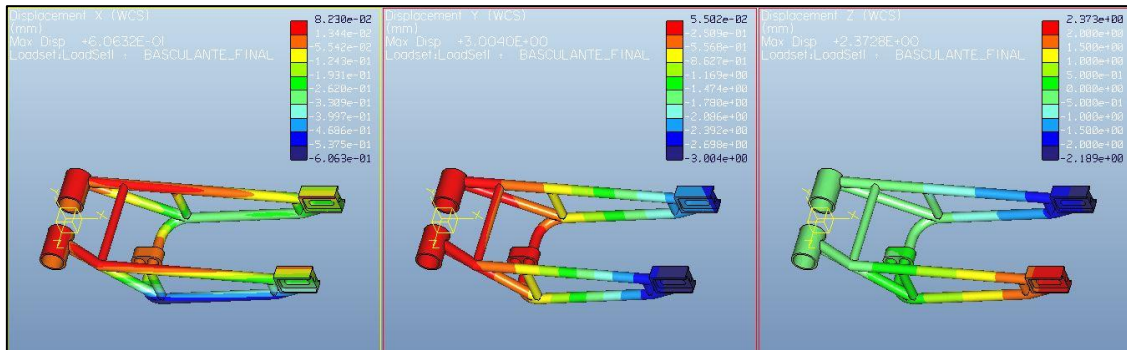


Figura 80: Desplazamientos en X Y Z en VAA_7.

En la *Figura 80* se observan los desplazamientos producidos y el valor de los mismos y se observa que son valores que no nos convencen demasiado, por tanto, en el siguiente modelo trataremos de minimizarlos.

7.3.8.- MODELO Y ANÁLISIS VAA_8

En el modelo que se muestra a continuación en la *Figura 81*, se puede observar que el brazo superior del basculante, en su parte trasera suelda con la parte superior del patín. Esto es debido a que el patín es la parte del basculante donde va alojado el eje de la rueda trasera y por tanto donde se aplican las fuerzas. Así, conseguimos que los esfuerzos se transmitan hacia ese brazo y no hacia el inferior. Además, hemos añadido una barra horizontal más, junto a dos barras verticales, una a cada lado, para que tenga más rigidez torsional. Tal y como se mostró en el anterior modelo, observaremos los cambios en el análisis de esfuerzos y de desplazamientos.

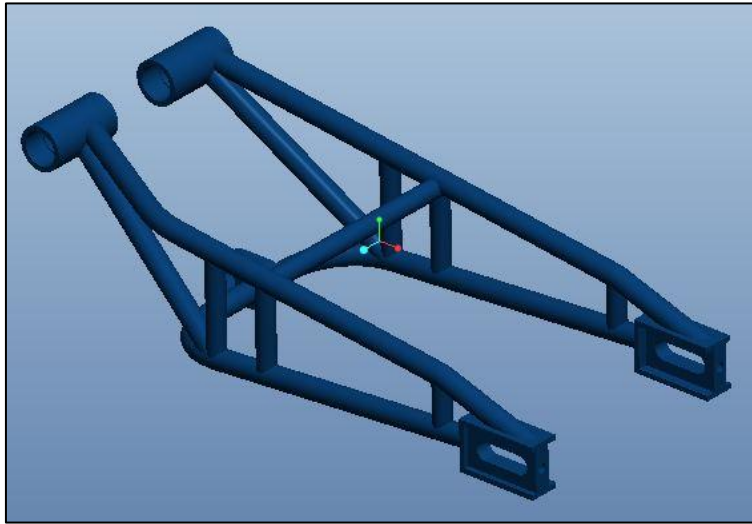


Figura 81: Basculante VAA_8.

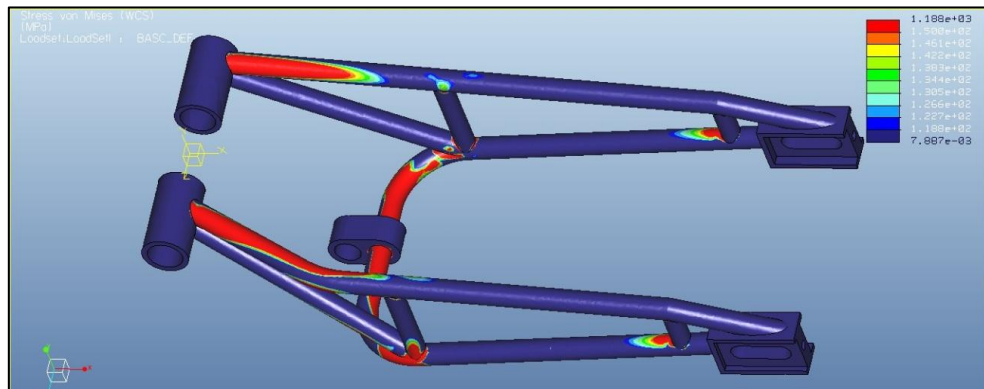


Figura 82: Tensión Von Misses VAA_8.

$$C.S = \frac{970}{1100 \cdot 1,2} = 0,73 \text{ (rechazado)}$$

Se observa que al igual que en la VAA_7 las tensiones se concentran en la misma zona, sobre todo en el anclaje del sistema de suspensión. Se intentará corregir en los modelos siguientes y además se observará a continuación los desplazamientos producidos en ambos casos. Lo importante de cada análisis es el valor de la tensión y no el color que represente, pues la leyenda del análisis permite adaptarla como mejor nos convenga.

Tabla 4: Tabla deformación VAA_8.

Deformaciones (mm)	X	Y	Z
	$3,18 \cdot 10^{-1}$	1,6	1,05

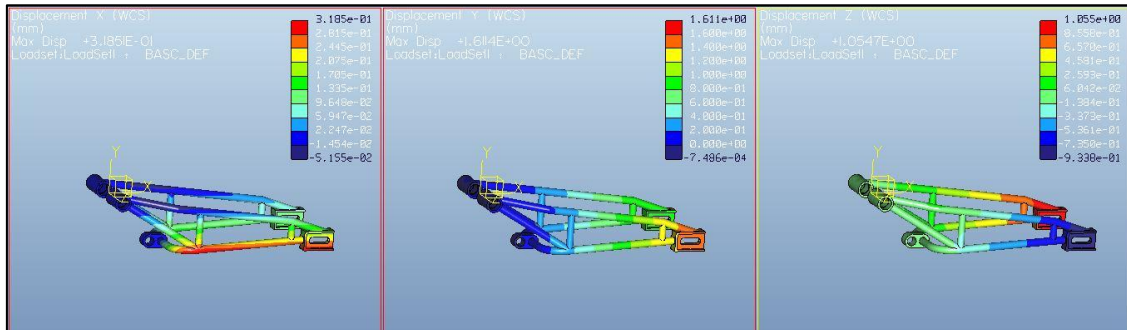


Figura 83: Desplazamiento en X Y Z en VAA_8.

Los resultados en cuanto a desplazamientos no son del todo tan buenos como se esperaba, sobre todo en los ejes Z e Y, aunque han mejorado con respecto a la versión anterior.

7.3.9.- MODELO Y ANÁLISIS VAA_9

Al tener gran concentración de tensiones, se decide modificar el diámetro de los tubos. El nuevo diámetro será de 30mm con 2mm de espesor. Así, no se tendrá problemas en las partes donde haya que soldar. Además, hay que añadir, que la parte del anclaje al motor tiene un diámetro diferente. Además se ha añadido un tubo de refuerzo que une en forma de arco la parte superior del basculante.

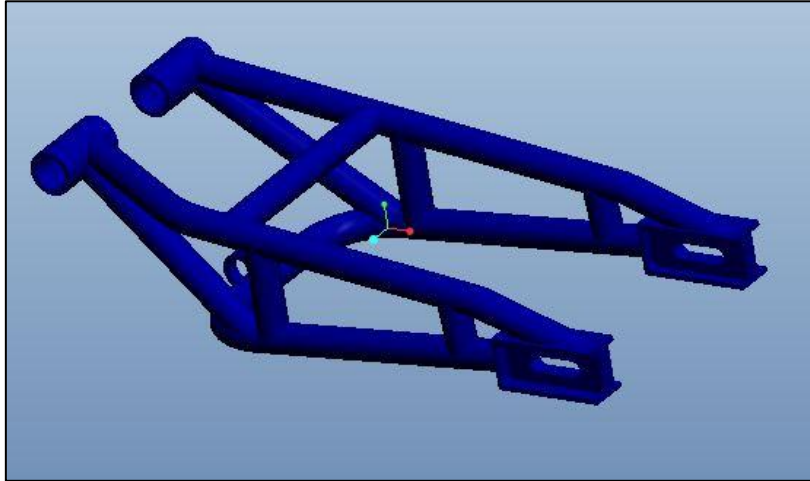


Figura 84: Basculante VAA_9.

Se aprecia que la pieza tiene una estética similar a la de los modelos anteriores, pero con las modificaciones que hemos realizado obtendremos mejores resultados en los ensayos de simulación que debemos realizar.

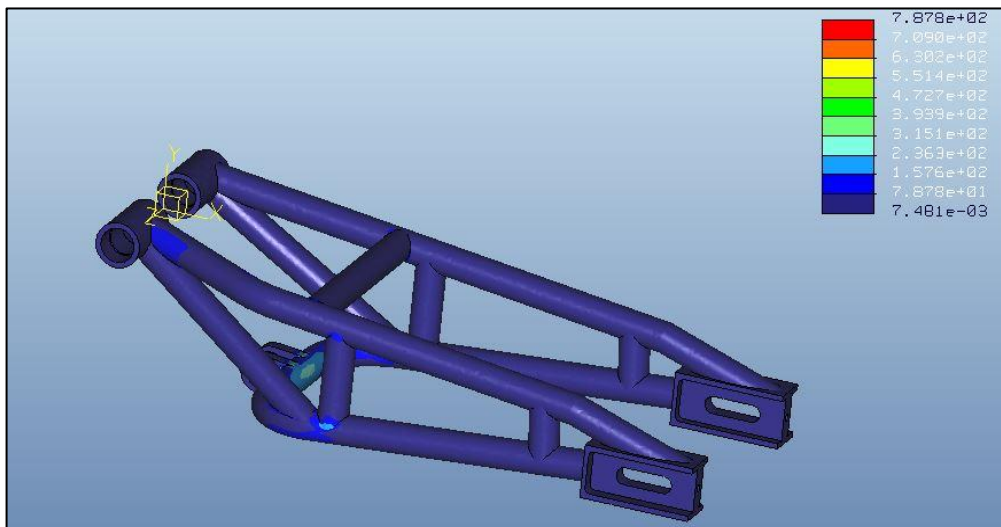


Figura 85: Análisis de tensiones en VAA_9.

$$C.S = \frac{970}{788 \cdot 1,2} = 1,02$$

A continuación se muestra un detalle de la tensión máxima, también en la zona del anclaje del amortiguador, por lo que se decide cambiarlo.

Además se ha aumentado el diámetro de los tubos, ya que el coeficiente de seguridad no era el esperado.

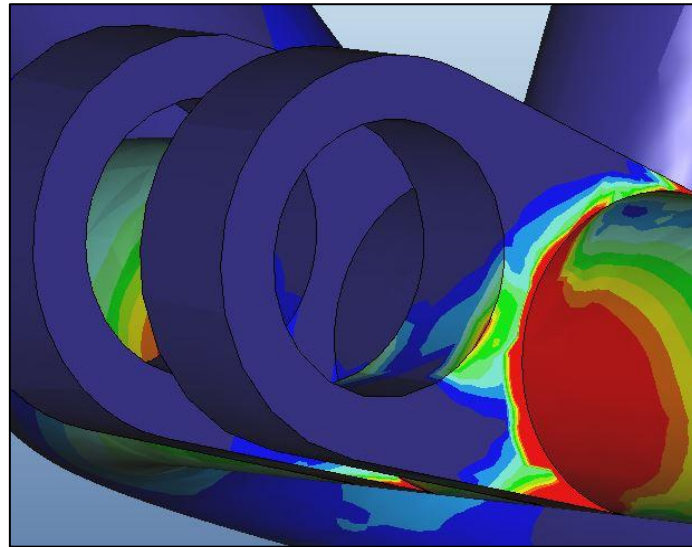


Figura 86: Detalle tensión máxima.

Tabla 5: Deformación en VAA_9.

Deformaciones (mm)	X	Y	Z
	$3,85 \cdot 10^{-1}$	2,199	$8,22 \cdot 10^{-1}$

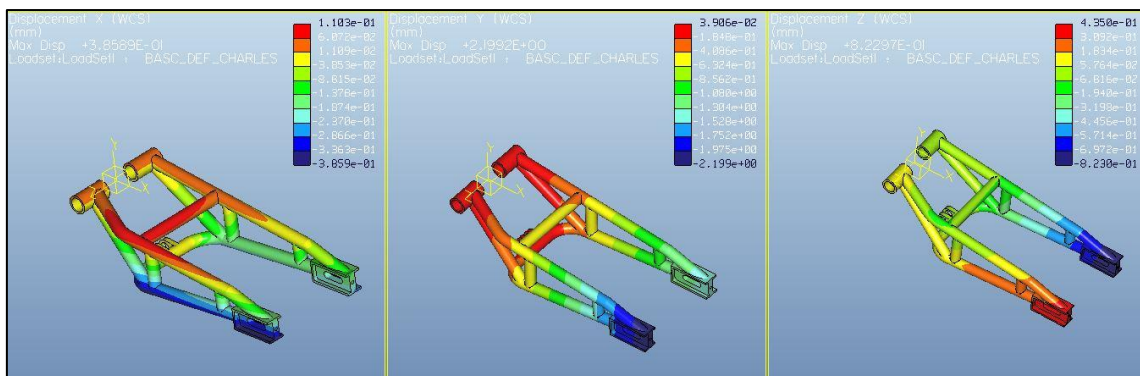


Figura 87: Desplazamiento en X Y Z en VAA_9.

Los resultados de tensión han variado con el cambio de diámetro, así como los desplazamientos, que han sido reducidos con respecto a los modelos anteriores.

Únicamente faltan pequeños detalles de diseño, por tanto el modelo VAA_9 se optimizará añadiendo, por ejemplo, el espacio que necesita el basculante para alojar la pieza que soporte la pinza de freno, el definitivo anclaje para el amortiguador, que nos proporcionará el definitivo sistema de suspensión o las modificaciones definitivas para los patines del alojamiento del eje.

7.3.10.- MODELO BASCULANTE FINAL: VAA_10

En el momento de cerrar surgió un problema con el proveedor de tubos (un patrocinador que se había obtenido) que se iba a tener para la construcción y se tubo que cambiar el diámetro y espesor de estos, así pues se rediseño el basculante, siguiendo las líneas que se habían estudiado anteriormente.

Otros cambios significativos es la unión de los tubos, en algunas zonas se utilizan terceros elementos para la conexión entre tubos, para así debilitar mucho menos el material al ser soldados, además es el método utilizado por nuestros compañeros en la fabricación de chasis y se nos demostró buenos resultados en los test de rigidez y flexión, además este basculante queda mas estético, importante cualidad que se debe cuidar como indicamos anteriormente. Se aprecian los cambios en los anclajes del amortiguador, la altura definitiva, el hueco para el soporte de la pinza, así como los patines retocados, tal y como se comentó con anterioridad.

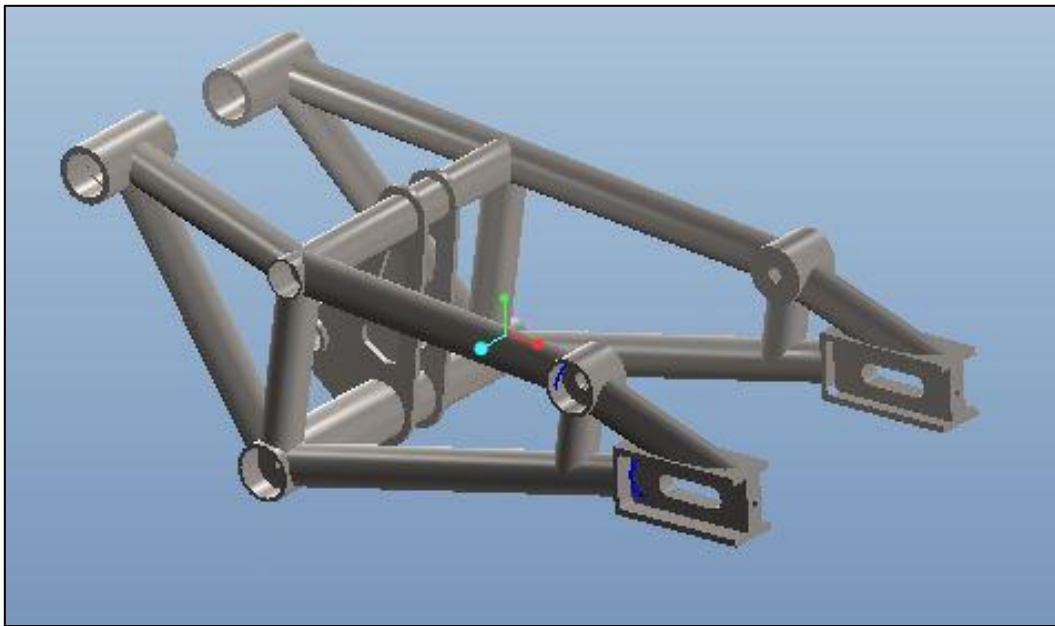


Figura 88: Basculante definitivo VAA_10.

En la siguiente figura, se observa el análisis de tensiones del basculante definitivo. Recordamos que el límite elástico que se empleará es de un valor inferior a los anteriores modelos y pasa a ser de 672MPa, debido a que se cambió la calidad del acero.

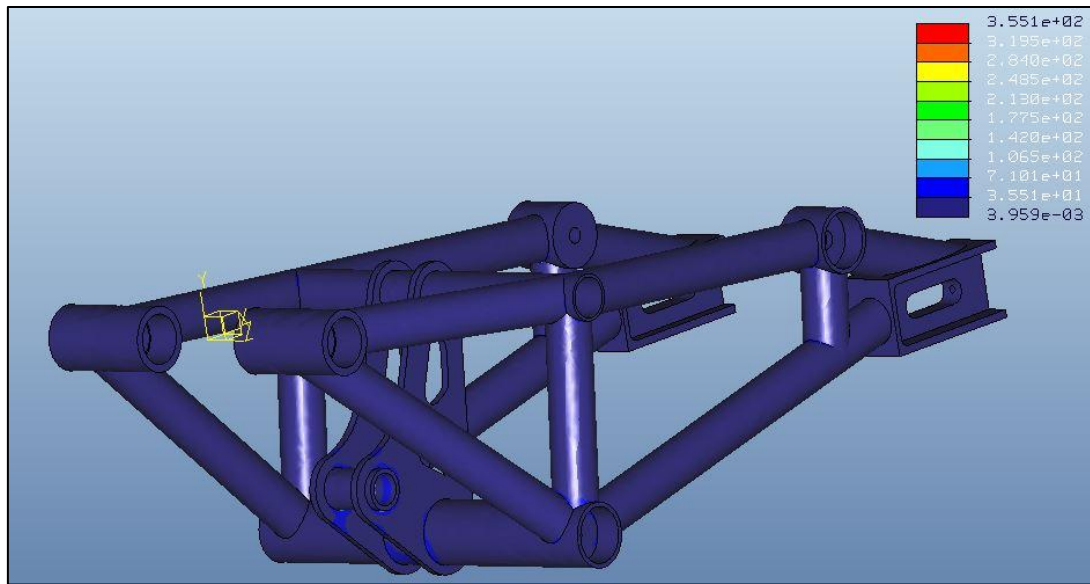


Figura 89: Tensión en basculante final.

El valor de la tensión se ha reducido en las zonas donde antes había concentración de tensiones y evidentemente no han desaparecido pero si se han reducido adecuadamente.

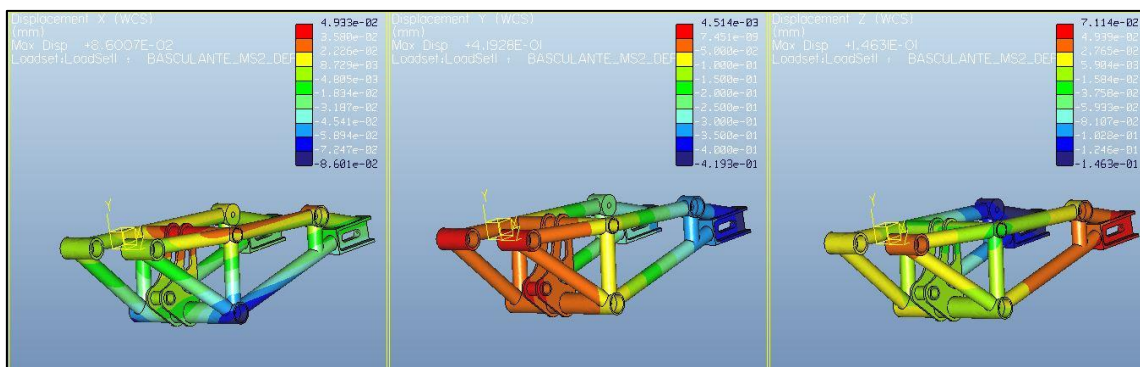


Figura 90: Desplazamientos en basculante final.

Tabla 6: Tabla deformación en basculante final.

Deformaciones (mm)	X	Y	Z
	$8,6 \cdot 10^{-2}$	$4,19 \cdot 10^{-1}$	$1,46 \cdot 10^{-1}$

Además, los desplazamientos se han reducido notablemente.

El coeficiente de seguridad es el siguiente:

$$C.S = \frac{672}{355 \cdot 1,2} = 1,57$$

El valor del coeficiente de seguridad es aceptado y por tanto el ensayo de tensión de Von Misses es aceptado y nos permite dar el paso para fabricación.

7.4.- ANÁLISIS A FATIGA

Con el modelo esfuerzo-vida, analizaremos la falla por fatiga, donde como el propio nombre indica, se analiza el esfuerzo máximo al que puede ser sometida la pieza de forma que no se produzca la fractura, en función del número de ciclos de funcionamiento. Funciona mejor cuando la amplitud de la carga es previsible y consistente durante la vida de la pieza (Norton, 1999).

El software Pro Engineer nos permite obtener un gráfico en el que se representa el número de ciclos que pueden aguantar las distintas partes de la pieza, sin que se produzca la falla por fatiga.

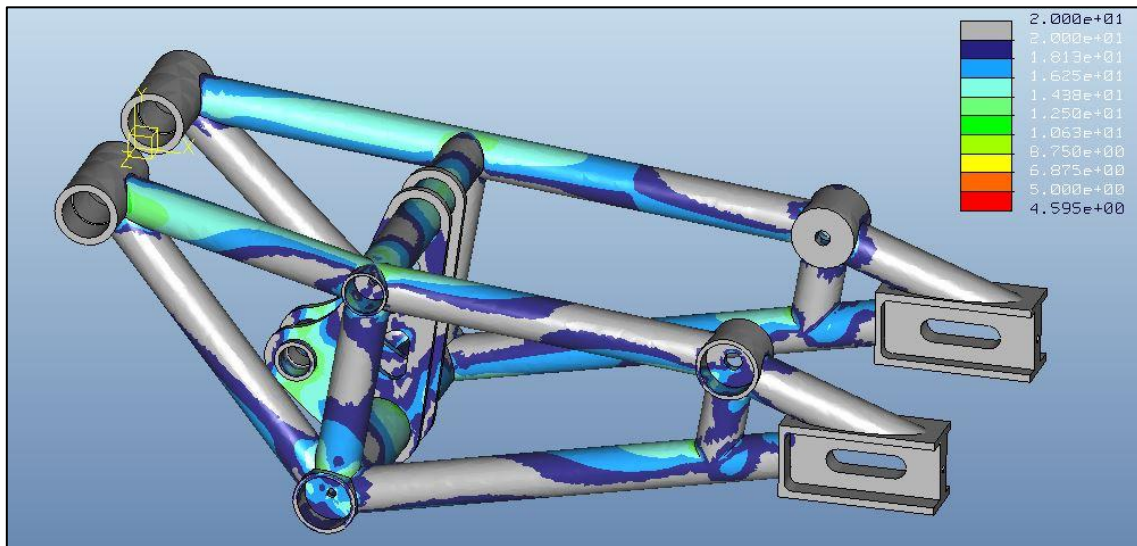


Figura 91: Gráfico de vida basculante.

Lo que se representa en la *Figura 91*, representa en realidad el logaritmo de la vida de funcionamiento, por lo tanto, según se puede observar en el gráfico, la mayor parte de la estructura tendrá una vida de 10^{20} ciclos. Sin embargo, existen en la pieza diferentes zonas donde el número de ciclos antes de que se produzca la falla es menor.

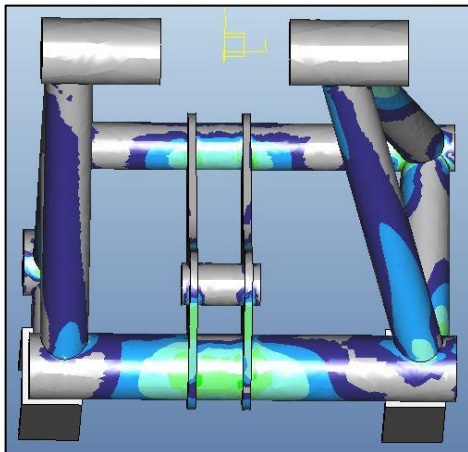


Figura 92: Detalle de zonas con menor número de ciclos.

Las zonas del basculante en las cuales se espera que se produzca antes la falla por fatiga son, principalmente los cambios de sección, las soldaduras y la zona del anclaje de amortiguador. Se observa en los resultados que los ciclos de vida esperados para estas zonas son de 5.10^8 ciclos.

La hipótesis de vida infinita es aceptada como superior a 10^6 ciclos por lo tanto se puede afirmar que los resultados obtenidos en el ensayo de fatiga del basculante son más que aceptables y tendrá una durabilidad adecuada, es decir, no sufrirá falla por fatiga.

Pro Engineer también nos permite calcular el factor de seguridad. En la figura siguiente se puede observar que la pieza tiene un factor de seguridad superior a 5. Se observa que en las zonas que anteriormente había menos ciclos de vida, también hay un valor menor de factor de seguridad. Ese valor es de 2,1. Puesto que el coeficiente de seguridad de un determinado elemento viene dado por el menor de los coeficientes de seguridad obtenidos, podemos determinar, que el basculante de la motocicleta Motostudent tiene un coeficiente de seguridad de valor 2,1.

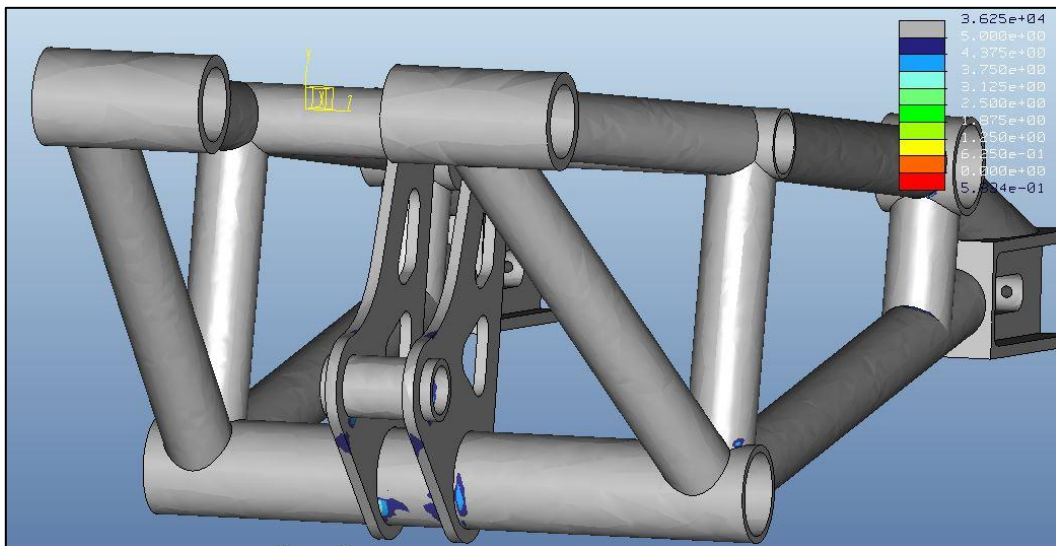
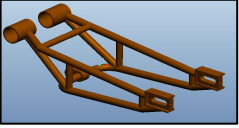
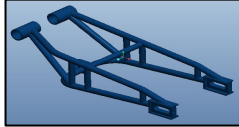
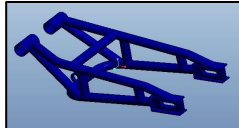
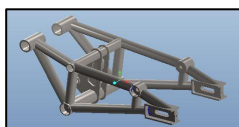


Figura 93: Factor de seguridad.

7.5.- RESULTADOS

VERSIÓN BASCULANTE	LONGITUD (mm)	TENSIÓN VON MISES (MPa)	DESPLAZAMIENTO EN X (mm)	DESPLAZAMIENTO EN Y (mm)	DESPLAZAMIENTO EN Z (mm)	MASA (kg)	COEFICIENTE DE SEGURIDAD	FABRICACIÓN
	508,65	872	$6,06 \cdot 10^{-1}$	3	2,37	3.08	0,93	Difícil
	518,48	1100	$3,18 \cdot 10^{-1}$	1,6	1,05	4.14	0,73	Medio
	518,68	788	$3,85 \cdot 10^{-1}$	2,199	$8,22 \cdot 10^{-1}$	6.12	1,02	Difícil
	518.68	355	$8,6 \cdot 10^{-2}$	$4,19 \cdot 10^{-1}$	$1,46 \cdot 10^{-1}$	7.58	1,57	Medio

7.6.- BASCULANTE FINAL

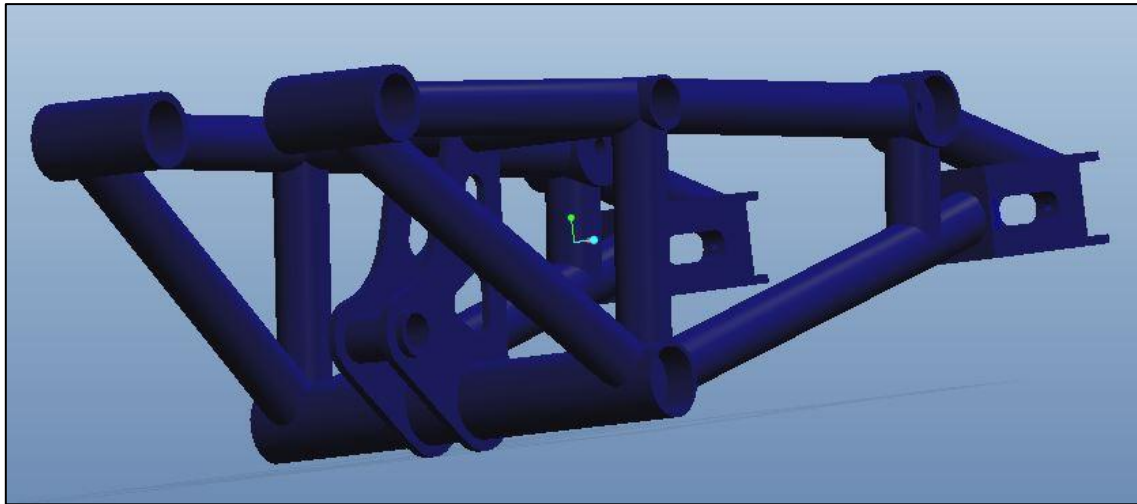


Figura 94: Basculante final.

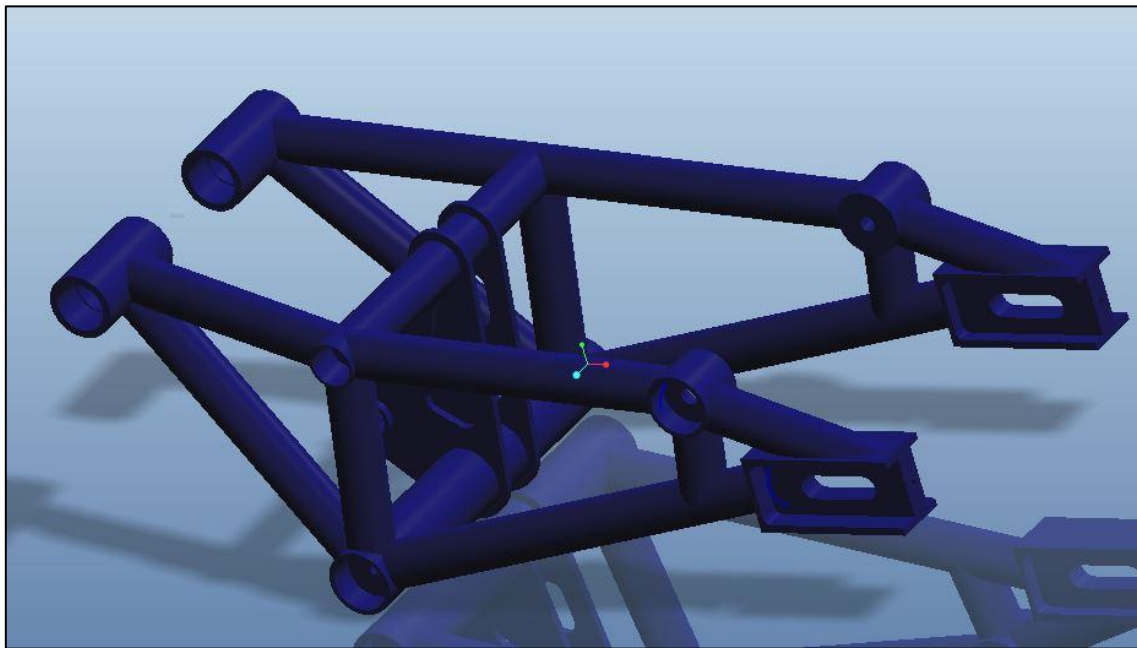


Figura 95: Foto realismo basculante.

8.- ANCLAJES Y UNIONES

En éste apartado vamos a realizar un análisis más detallado los anclajes y uniones presentes en el basculante como son el anclaje motor-chasis y la unión del eje de la rueda trasera, citamos también las orejetas del anclaje del rocker en el basculante y el anclaje del amortiguador al chasis.

8.1.- ANCLAJE MOTOR-CHASIS

En primer lugar, hemos de tener en cuenta que elegimos usar un anclaje del motor que nos fuera útil tanto para el basculante, como para el chasis de nuestra motocicleta. El eje del basculante es un elemento crítico del mismo, ya que además de soportar cargas provenientes de la rueda trasera, también influye dentro del comportamiento dinámico de la motocicleta.

Ante la importancia de dicho elemento, nos centramos en realizar un anclaje al motor y al chasis para que éste no tuviera contacto directo con el basculante, para que los esfuerzos no se centraran en nuestra pieza. Así, pensamos en la idea de colocar en el extremo del eje arandelas de bronce para que no hubiera contacto directo entre piezas. Además, se alojarán dentro del anclaje del eje y de cada rodamiento, casquillos de acero para que los rodamientos no tengan contacto directo con el eje que unirá los tres elementos.

El diámetro del eje será de 42mm de longitud con 10mm de espesor. Cada uno de los lados del anclaje cuenta con una longitud de 75mm, con una separación entre ellos de 82mm que es la separación existente en el motor. El eje que unirá los elementos es de 18mm.

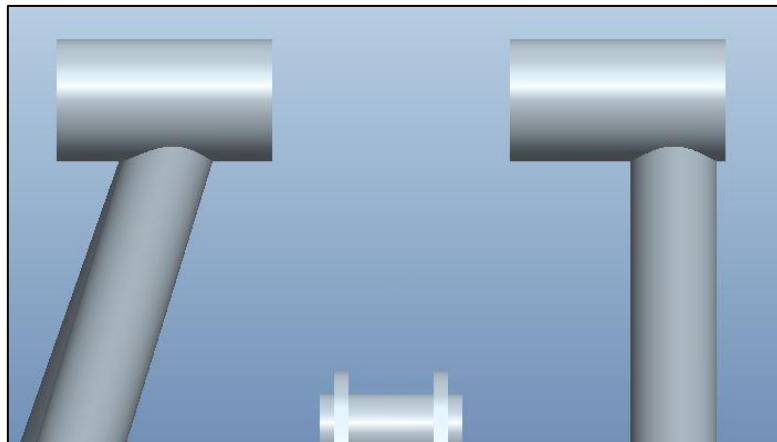


Figura 96: Vista en planta del anclaje del basculante.

En ésta vista detallada se observa la longitud de cada brazo, así como la separación entre ellos donde irá alojado el motor.

En detalle, a continuación, se observa el interior del anclaje, con una pequeña pared donde serán alojados los rodamientos que usaremos.

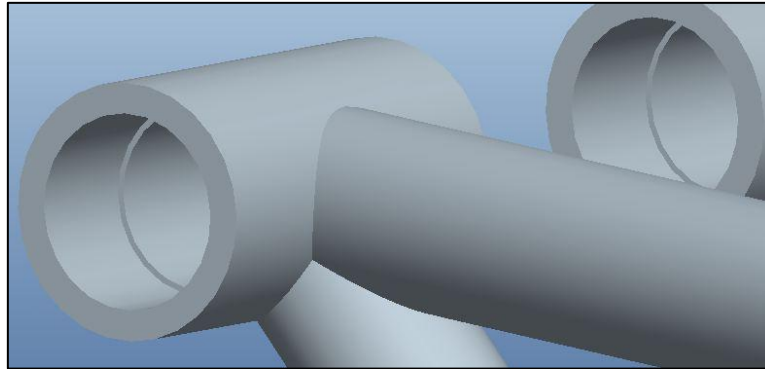


Figura 97: Detalle del interior del anclaje.

ELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Los rodamientos que hemos escogido para nuestro anclaje del basculante, nos lo proporciona uno de nuestros patrocinadores, SKF Española, que es una empresa del sector de rodamientos, lubricantes y sistemas de unión más importantes del mercado. Para la elección de los rodamientos se tuvo en cuenta que el basculante no soportara cargas axiales y por tanto los rodamientos a elegir deberían ser unos que aguantasen cargas radiales pero sin importarnos las axiales.

Rodamientos de agujas, casquillos de agujas, sin fondo, obturaciones rozantes en ambos lados									
Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga	Velocidades		Masa	Designación
F_w	D	C	C	C_0	P_u	Velocidad de referencia	Velocidad límite	kg	
mm			kN		kN	rpm			
25	32	20	15,1	24	2,85	-	6700	0,031	HK 2520.2RS

	Accesorios adecuados Aro interior IR Aro interior LR Obturación G Obturación SD	IR 20x25x20.5 LR 20x25x20.5 - -
--	--	--

Figura 98: Información del rodamiento HK 2520 2RS de SKF.[16]

Dentro de todos los tipos de rodamientos, decidimos escoger un rodamiento de agujas, exactamente denominado casquillo de agujas, con la referencia HK 2520 2RS.

Los rodamientos son elementos mecánicos que reducen la fricción entre un eje y los elementos conectados al mismo por medio de rodadura, que le sirve de apoyo y facilita desplazamientos. Las capacidades de carga que nuestro rodamiento escogido es de 15,1kN de carga dinámica, por 24kN de carga estática. Además, tiene una carga límite de fatiga de 2,85kN y una masa de 0,031kg. Necesitaremos cuatro rodamientos, dos por cada lado del anclaje.

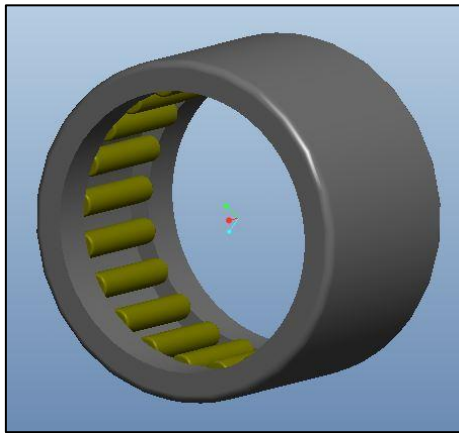


Figura 99: Rodamiento HK 2520 2RS en Pro Engineer.

Como se ha comentado anteriormente, cada rodamiento estará alojado en cada uno de los cuatro extremos del anclaje al motor-chasis. En la *Figura 97* se puede observar de nuevo el hueco que se ha dejado, donde irá alojado cada uno de los rodamientos.

El resultado final obtenido, con los rodamientos en su sitio perfectamente colocados es el siguiente.

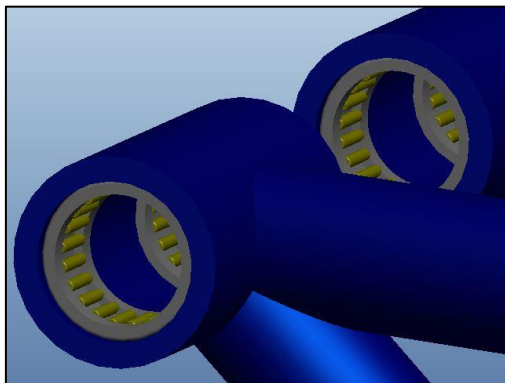


Figura 100: Colocación de los rodamientos.

Como se ha citado, pensamos que habría que alojar dos casquillos para el correcto montaje de los rodamientos, de tal forma que cuando se apriete el eje del basculante, éstos no estén sometidos al apriete y puedan realizar perfectamente su funcionamiento en las mejores condiciones posibles.

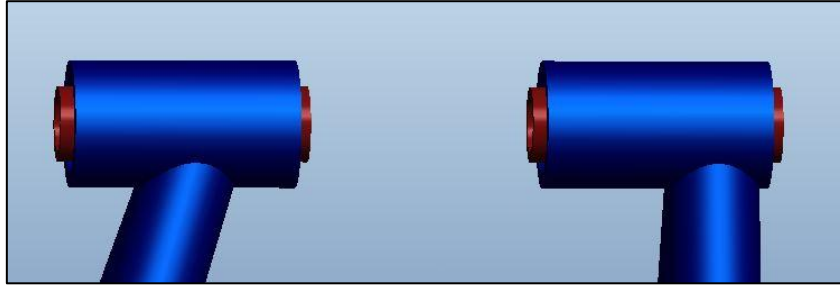


Figura 101: Colocación de los casquillos.

Se aprecia que los casquillos sobresalen de cada uno de los lados, ahí se alojarán las arandelas y aun así sobresaldrá una pequeña porción de casquillo que será el que hará contacto con el chasis.

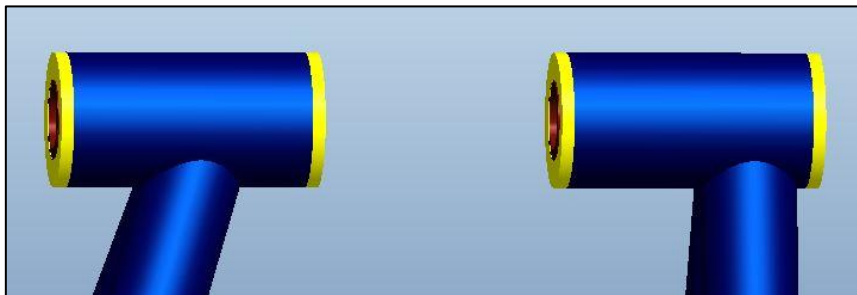


Figura 102: Arandelas en extremos.

Por último, únicamente falta colocar el eje del basculante que unirá los tres elementos.

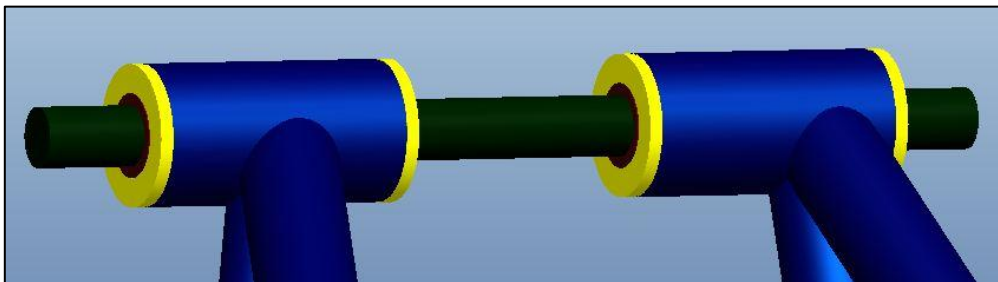


Figura 103: Eje que une chasis-motor-basculante.

8.2.- ANCLAJE RUEDA TRASERA

En la parte trasera del basculante se encuentran los denominados patines de la cadena. En éste lugar, estará alojado el sistema trasero de la motocicleta. El eje trasero apoyará en dichos patines y a su vez soportará toda la carga de la rueda trasera, así como los demás componentes del tren trasero, corona, freno trasero, llanta y neumático.

Los patines, nos permiten modificar la distancia entre ejes de la motocicleta. Esta distancia es la longitud que existe entre los puntos de contacto de las dos ruedas. Si observamos lo que ocurre cuando gira una rueda al abordar una curva, se comprueba que, cuanto mayor es la distancia entre ejes para trazar una misma curva, es necesario girar más la rueda delantera, es decir, es más costoso. Por tanto, la distancia entre ejes influye en la maniobrabilidad de la motocicleta.

A continuación, se muestra los patines de la cadena.

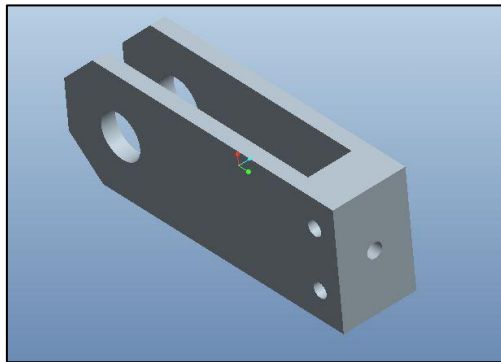


Figura 104: Patín de la cadena.

La pieza está compuesta por dos piezas iguales unidas a una central. La longitud de las dos piezas laterales es de 104 mm con un taladro de 15mm de diámetro, mismo diámetro del eje de la rueda. El espesor de dichas placas es de 5mm. Además tiene dos taladros de 5mm que servirán de unión de las tres piezas. La forma delantera de la placa se asemeja a la mitad de un hexágono. La pieza del centro será la encargada de hacer la sujeción con el basculante. Tiene un taladro de M6 en su parte central, donde se alojará el tornillo que unirá las partes citadas. Tiene un espesor de 15mm, por tanto el espesor total de la pieza es de 25mm.

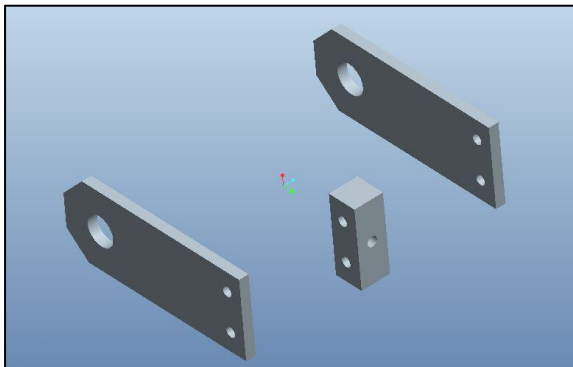


Figura 105: Explosionado del patín. Vista de las tres partes que lo forman.

8.3.- OTROS PUNTOS DE ANCLAJE

Además de los anteriores puntos de anclaje que se han visto en detalle, hay que citar los puntos de anclaje donde irá alojado el amortiguador de la suspensión trasera. Se trata de dos placas de 5mm de espesor, separadas una distancia de 29,6mm entre sus caras internas.

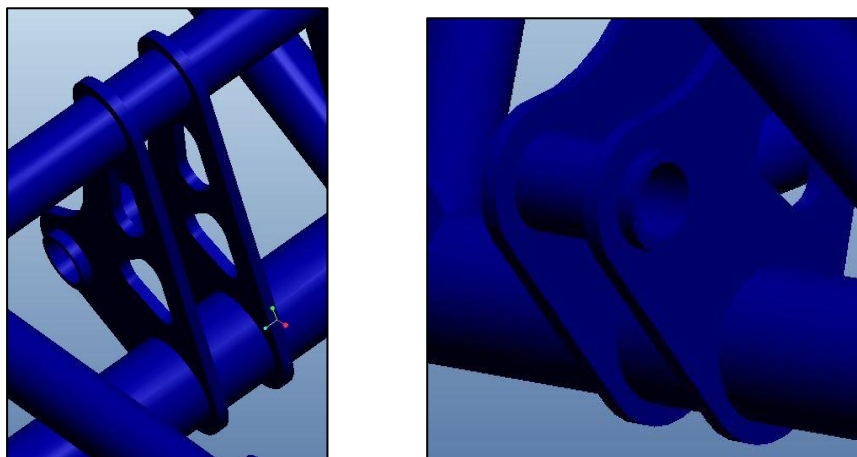


Figura 106: Vistas de las placas donde se instalará el amortiguador.

Estas placas están unidas por un casquillo, donde se alojará el amortiguador de la motocicleta. Tal y como se ve en la *Figura 106*, las placas tienen dos vaciados en su parte interior y están acopladas tanto a la parte superior como a la inferior del basculante.

9.- PRESUPUESTO

En éste punto se comentará y expondrá un análisis de las actividades realizadas, tipo de material empleado y personal, así como información económica y temporal detallada con el objetivo de ofrecer un presupuesto que nos indique el coste total del proyecto.

Analizaremos el presupuesto en tres grupos diferentes:

- Coste de personal.
- Coste de material informático y licencias.
- Costes Indirectos

COSTE DE PERSONAL

Este coste nos indica el importe imputable al personal. Se debe calcular el coste total de personal en función del número de horas que se ha dedicado a la realización del proyecto.

La elaboración del proyecto ha tenido una duración total de cinco meses. Se han dedicado 14 horas semanales. Se debe tener en cuenta el trabajo del personal en las diferentes partes que engloba el proyecto y por tanto, se ha establecido un precio por hora diferente para cada actividad.

COSTE DE MATERIAL INFORMÁTICO Y LICENCIAS

En este apartado se tendrá en cuenta todo el material informático utilizado durante el proyecto. Además, hay que tener en cuenta el precio de los programas utilizados para la elaboración del proyecto. Hemos utilizado el software PRO ENGINEER y software informáticos que se encuentran dentro del paquete informático del ordenador como MICROSOFT WORD y MICROSOFT EXCEL. Éstos dos últimos programas no entrarán dentro del coste de licencias debido a que están vinculados al paquete de Office. Así, debemos alquilar la licencia del programa PRO ENGINEER y estimar un coste de amortización. La licencia del programa de diseño PRO ENGINEER se alquila durante un año completo aunque el proyecto se haya realizado tan solo en menos de la mitad del tiempo de alquiler.

COSTES INDIRECTO

En este apartado se tendrán en cuenta los costes difíciles de justificar, tales como los imprevistos ocasionados, fotocopias del proyecto así como un beneficio para el autor del mismo. Por tanto se estipula que el valor de coste indirecto será del 20% del total.

A continuación se muestra una tabla resumen con todos los costes empleados.

PERSONAL					
Nombre y apellidos	Tarea	Categoría	Dedicación (h)	Coste (€/h)	Coste (€)
Alberto Jareño Núñez	Documentación y Memoria	Ingeniero Técnico Industrial	112	30	3.360,00 €
	Análisis y Diseño		168	50	8.400,00 €

Total	11.760,00 €
-------	-------------

MATERIALES INFORMÁTICOS Y LICENCIAS					
Descripción	Coste (€)	% Uso proyecto	Dedicación (meses)	Periodo depreciación	Coste (€)
Ordenador ASUS A52J	600	60	7	24	105,00 €
Licencia Pro Engineer	7800	50	5	12	1625,00 €

Total	1.730,00 €
-------	------------

Total Personal y Materiales	13.490,00 €
------------------------------------	--------------------

RESUMEN DE COSTES	
Total Personal y Materiales	13.490,00 €
Costes Indirectos	2.698,00 €
Total	16.188,00 €

El presupuesto total del proyecto asciende a la cantidad de dieciseis mil ciento ochenta y ocho euros.

Leganés, a 19 de Abril de 2013

El Ingeniero Proyectista

Fdo. Alberto Jareño Núñez

10.- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

10.1.- CONCLUSIONES

En este proyecto se ha conseguido cumplir satisfactoriamente el objetivo principal que era conseguir un diseño de basculante viable para una motocicleta de carreras, según las condiciones planteadas en el diseño y además cumpliendo las especificaciones requeridas en la competición Motostudent 2012.

En éste proyecto se han utilizado herramientas de cálculo que actualmente tienen un uso muy importante en el mundo industrial. Se ha comprobado a lo largo del documento que en el proceso de diseño existe constantemente un conflicto de factores donde hay que tener en cuenta un equilibrio para llegar al resultado final, por ejemplo: rigidez-peso, precio-material óptimo, etc.

En el documento se ha reflejado siempre el mundo de las motocicletas desde un punto de vista totalmente técnico, desarrollando cuáles son las cualidades prácticas y reales que se buscan en un basculante y la complejidad que tiene seleccionar cualquier elemento o componente tal y como queda muestran algunos parámetros estudiados.

Condicionado por el material suministrado por los patrocinadores, se opta por un diseño que emplee tubos de acero frente a otros de chapa plegada o aluminio mecanizado, lo cual además nos aporta una gran ventaja en facilidad de fabricación.

Se proponen varios modelos prototipos de basculante, analizándolos ante determinados esfuerzos que simulan una aceleración estipulada, obteniendo los desplazamientos máximos provocados por los mismos. También se valorará el peso y la facilidad de construcción, seleccionando y proponiendo lo que será el diseño final.

Además, una vez que se ha determinado el basculante definitivo, se ha realizado un ensayo a fatiga del basculante, para así poder conocer en detalle la vida útil del mismo y obtener los resultados que nos demuestren que la pieza está capacitada para cumplir su función dentro de la motocicleta. Finalmente se escogieron elementos auxiliares estándares de SKF, que es uno de los patrocinadores del equipo y nos los proporciona a un precio más asequible. Todo esto se ha realizado en consenso del grupo que desarrolla la motocicleta.

Así, podemos afirmar que los resultados obtenidos anteriormente son favorables pues la estructura aguantará los esfuerzos a los que se encontrará sometida y, además, cabe destacar algunos aspectos:

- Algunas de las barras del basculante se encuentran poco cargadas por lo que puede considerarse que están algo sobredimensionadas. Esto provoca un peso algo más elevado del esperado pero por otro lado aporta seguridad extraordinaria (coeficiente de seguridad próximo a 2) y se consigue un basculante más sencillo de fabricar.

- La estructura creada para el basculante posee la rigidez suficiente para las cargas probadas.

10.2.- TRABAJOS FUTUROS

Al tratarse de un trabajo tan extenso y se hayan tenido en cuenta muchos aspectos para el diseño y análisis, es conveniente tener en cuenta otros aspectos para futuros trabajos y proyectos que se citan a continuación:

- Optimización, en cuanto a modelado, de todas las piezas que constituyen el modelo de motocicleta, ya que, como se ha citado varias veces, a excepción del basculante, en este estudio no se han modelado con la forma real, debido a que no era el objeto de este proyecto.
- Análisis más exacto del ensayo a fatiga, para intentar reducir el coeficiente de seguridad.
- La construcción del prototipo de basculante y una vez se haya montado en el conjunto de la motocicleta, analizar su comportamiento de forma real en un circuito de velocidad y comparar los resultados obtenidos con los que se han tenido en cuenta en el diseño, para así poder modificar los aspectos que sean mejorables.
- Estudio del efecto de la cadena pues el basculante tiene el centro de rotación separado del piñón del motor al bascular tensa la cadena generando fuerzas que no se han tenido en cuenta en éste proyecto.
- Estudio de los efectos que pueden ser producidos por el freno trasero, obviado en éste proyecto por el menor uso en competición, pero importante para un estudio completo.

11.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] Tony Foale. Traducido por David Sánchez. “Motocicletas: comportamiento dinámico y diseño de chasis: el arte y la ciencia”. Ed. Foale, Tony. Año 2003.
- [2] Manuel Arias Paz. “Motocicletas”. Ed. Dossat 2000, 32ª edición, Octubre 2003.
- [3] Reglamento Técnico. Motostudent. Edición 2011/2012.
- [4] Arenaza, B I “Diseño y cálculo estructural del basculante y diseño del sistema de suspensión trasera de una motocicleta de competición” Universidad Politécnica de Navarra. Año 2010.
- [5] Normativa general Motostudent. Edición 2011/2012.
- [6] Miguel Velázquez Kennedy. Trabajo fin de Grado: “Propuesta de un basculante y sistema de suspensión para una moto de competición”. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2012.
- [7] Sara García Álvarez. Proyecto Fin de Carrera: “Diseño y análisis de basculante prototipo para Motostudent”. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2012.
- [8] Tania Folguera. Proyecto Fin de Carrera: “Estudio de las vibraciones auto excitadas en el tren delantero de un motocicleta”. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2011.
- [9] Aarón Collantes Gil. Proyecto Fin de Carrera: “Diseño y estudio de basculantes para una motocicleta de competición”. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2012.
- [10] Ana Gómez Pérez. Proyecto Fin de Carrera: “Análisis a fatiga del chasis de la motocicleta Motostudent debido a las fuerzas del motor”. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2011.
- [11] Yamaha. Manual de taller Yamaha YZF R125. Año 2011.
- [12] Robert L. Norton “Diseño de máquinas”. Ed. McGraw-Hill, 2ª edición, 1999
- [13] Joseph E. Shigley & Charles R. Mischke “Diseño en ingeniería mecánica”. Ed. McGraw-Hill, 6ª edición, 2002.
- [14] Jason B., A. John R. y Stan T.: ‘Motor vehicle Structures: Concepts and Fundamentals’ Ed. Butterworth-Heinemann, 1ª edición, 2002.

Referencias web:

- [15] <http://www.monografias.com/trabajos82/problematica-arboles-molinos-canaagrietados/problematica-arboles-molinos-cana-agrietados2.shtml>
Último acceso: Enero de 2013.
- [16] Suministrador de rodamientos con catálogo online:
http://www.skf.com/portal/skf_es/home
Último acceso: Febrero de 2013.
- [17] Fabricante de tubos para estructuras ligeras Reynolds:
<http://reynoldstechnology.biz/>
Último acceso: Febrero de 2013.

ANEXO A. PARÁMETROS DEL BASCULANTE

VOLUMEN = 9.6925706e+05 MM³
ÁREA DE SUPERFICIE = 6.6614799e+05 MM²
DENSIDAD = 7.8270800e-06 KILOGRAMO / MM³
MASA = 7.5864526e+00 KILOGRAMO

CENTRO DE GRAVEDAD respecto al cuadro de coordenadas _PRT0070:
X Y Z 2.6509346e+02 -8.0601465e+01 1.0302717e+01 MM

INERCIA con relación al cuadro de coordenadas _PRT0070: (KILOGRAMO * MM²)

TENSOR DE INERCIA:

Ixx	Ixy	Ixz	1.4795497e+05	1.7998426e+05	-2.5794421e+04
Iyx	Iyy	Iyz	1.7998426e+05	8.4665919e+05	7.5196660e+03
Izx	Izy	Izz	-2.5794421e+04	7.5196660e+03	8.4555616e+05

INERCIA en el CENTRO DE GRAVEDAD con relación al cuadro de coordenadas _PRT0070: (KILOGRAMO * MM²)

TENSOR DE INERCIA:

Ixx	Ixy	Ixz	9.7863576e+04	1.7885120e+04	-5.0744311e+03
Iyx	Iyy	Iyz	1.7885120e+04	3.1271943e+05	1.2197690e+03
Izx	Izy	Izz	-5.0744311e+03	1.2197690e+03	2.6313555e+05

MOMENTOS PRINCIPALES DE INERCIA: (KILOGRAMO * MM²)

I1 I2 I3 9.6225571e+04 2.6328245e+05 3.1421053e+05

MATRIZ DE ROTACIÓN de la orientación _PRT0070 a los EJES PRINCIPALES (en grados):

0.99612	-0.03207	-0.08201
-0.08247	-0.01306	-0.99651
0.03089	0.99940	-0.01565

ÁNGULOS DE ROTACIÓN de la orientación _PRT0070 a los EJES PRINCIPALES (en grados): ángulos alrededor de x y z 90.900 -4.704 1.844

RADIOS DE GIRO con relación a los EJES PRINCIPALES:

R1 R2 R3 1.1262268e+02 1.8629088e+02 2.0351246e+02 MM

ANEXO B. PLANO DE BASCULANTE

